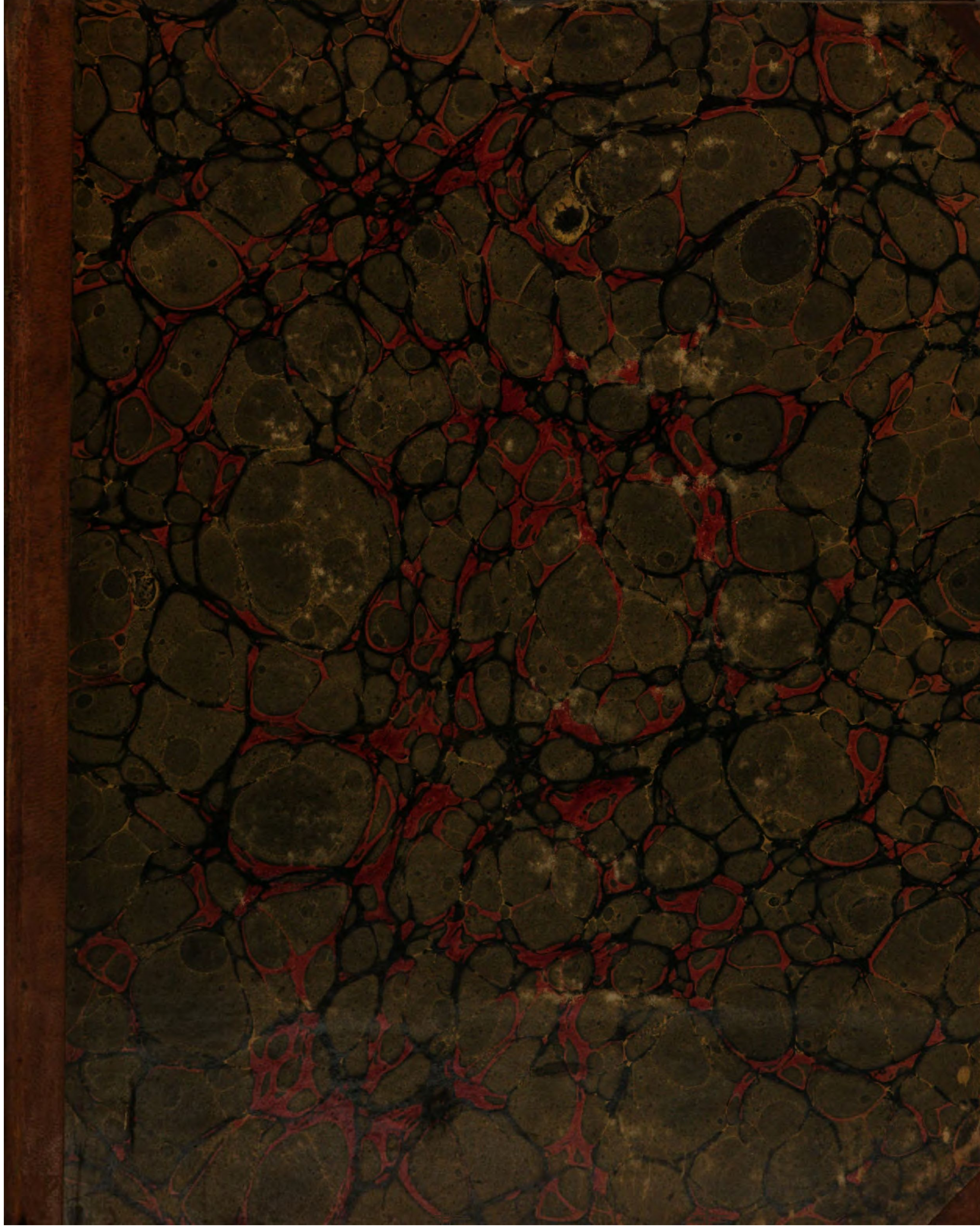




4^o A. civ. 139 d

P. e
mar

03112
V
Versuche
über
den Seitendruck der Erde,

ausgeführt

auf höchsten Befehl des Herrn General-Genie-Directors

Erzherzog Johann,

kaiserliche Hoheit,

und

verbunden mit einer théoretischen Abhandlung über diesen Gegenstand

nach

Coulomb und Français,

nebst

einer Nachweisung älterer Versuche dieser Art

von

Carl Martony de Köszezh,

Major im k. k. Ingenieurs-Corps.

60



Σ
Mart

W i e n.

Aus der kaiserl. königl. Hof- und Staats-Aerarial-Druckerey.

1828.

9a/68/161

V e r s u c h

über

den Seitenruck der Erde

ausgeführt

auf höchsten Befehl des Herrn General-Genie-Directors

Erzherzog Johann

kaiserliche Hof- und

Land

verbunden mit einer theoretischen Abhandlung über diesen Gegenstand

nach

Colman, J. A.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

einer Nachschrift von J. A. Colman

Altbestand 6338

Carl M. Kossel

Wehrkreis-
bibliothek VII
München



W i e d e r

Von der kaiserl. k. Hof- und Staats-Druckerei

1828

Theoretisch - practische Untersuchungen über den Druck der Erde gegen Futtermauern.

Einleitung.

Vielleicht kein Gegenstand der ausübenden Baukunst ist so oft theoretisch beleuchtet worden, als der Druck der Erde gegen Futtermauern; die geschicktesten Mathematiker haben es nicht verschmähet, sich mit dieser Aufgabe zu beschäftigen. *Mayniel* in seinem *Traité de la poussée des terres et des murs de revêtements* hat eine Uebersicht der in Frankreich erschienenen älteren und neueren Theorien geliefert, welche zum Theil nur im Manuscripte vorhanden sind, und man wird bey der Ansicht dieses Verzeichnisses gewiß um so mehr der obigen Behauptung gerne beystimmen, wenn man sich hierzu noch jene denkt, welche in anderen Ländern, Theils öffentlich bekannt gemacht, Theils als Handschriften niederlegt worden sind. An sich ist die Sache auch wichtig genug, um mit aller Schärfe behandelt zu werden, denn alle Zweige der Baukunst haben mitunter gegen den Druck der Erde zu kämpfen, ganz besonders aber die Festungsbaukunst, welche ausgedehnte und hohe Wälle mit Mauern zu verkleiden hat. Eine Verminderung in der Dicke der Futtermauern, in so fern die Stabilität dabey nicht gefährdet ist, liefert so bedeutende Ersparungen an Zeit und Herstellungskosten, daß dadurch allein schon der Eifer sich erklärt, mit welchem, besonders die Officiere des Französischen *Ingenieurs - Corps*, welche die meisten Festun-

gen zu erbauen hatten, von jeher sich bemühet haben, den Druck der Erde gegen Futtermauern nach einer richtigen Theorie zu bestimmen; denn *Vaubans* bloß empirische und *Belidors* offenbar unrichtige Bestimmungen konnten in einem Zeitraume nicht mehr genügen, in welchem die Analysis mächtige Fortschritte gemacht hatte.

Coulomb, Hauptmann im Französischen *Ingenieurs-Corps*, bekannt als gelehrter Mathematiker und Physiker, war der erste, der diese Aufgabe analytisch richtig aufgelöset, und hierüber 1773 ein *Memoire* der *Academie des Sciences* vorgelegt hat. *Prony* vereinfachte *Coulombs Theorie*, irrte sich aber, als er die Aufgabe allgemein, das heißt: auch für solche Mauern auflösen wollte, deren innere Seite nicht vertical ist.

Diese allgemeine Auflösung verdanken wir demahlen Herrn *Français*, Hauptmann im Französischen *Ingenieurs-Corps* und Lehrer der Kriegs- und Befestigungskunst an der königlichen Artillerie- und *Ingenieurs-Schule* zu *Metz*, der in einem Aufsatze, welcher in dem *Memorial de l'Officier du Genie* *Ano. 1820 Nro. 4 Paris* erschienen ist, diesen Gegenstand theoretisch vollkommen erschöpfend vorgetragen hat.

Belidors Bestimmungen der Dicke der Futtermauern werden noch bis diesen Tag fast aller Orten bey den Ausführungen benützt; obwohl nach den neueren Theorien diese Mauern unter gleichen Umständen bedeutend schwächer gehalten werden könnten. Die Ursache hiervon ist, weil es an practischen Beweisen für die Richtigkeit dieser Theorien in der Anwendung mangelt, und bey einem auszuführenden großen Bau Niemand die Verantwortung eines möglichen Mißlingens tragen will. Auch ist nicht zu leugnen, daß auf den Druck der Erde sowohl, wie auf den größeren oder minderen Widerstand der Mauer eine Menge Ursachen vermehrend

oder vermindernd einwirken können, und dafs es daher schwierig ist, eine Theorie anzuwenden, ehe man diese Ursachen und die Gröfse ihrer möglichen Wirkungen genau genug kennet.

Eben diese Betrachtung scheinen auch Jene gemacht zu haben, denen wir so Vieles in der Theorie verdanken, sobald sie zur Anwendung übergingen; denn Herr *Prony* und Herr *Français* bemühen sich beyde, die Resultate der Theorie für die Ausführung dergestalt zu verstärken, dafs sie fast auf jene von *Belidor* zurück kommen, und zerstören dadurch mit eigener Hand die möglichen höchst nützlichen Folgen ihrer Bemühungen.

In so lange daher die Uebereinstimmung der Ergebnisse der Theorie mit den Erscheinungen der Natur nicht überzeugend erwiesen war, war es vorauszusehen, dafs Furcht und Zweifel den Staat um den Genufs der Vortheile bringen würden, welche eine richtige Lehre darbiethet.

Diese Ueberzeugung konnte aber nur aus Versuchen hervorgehen, die mit der hierzu erforderlichen Vorkenntnifs und Genauigkeit, zugleich auch in einem gröfseren Mafsstabe als die bisher bekannt gewordenen unternommen, und auf verschiedene Erdgattungen ausgedehnt, alle physischen Ursachen und deren Wirkungen zur Kenntnifs bringen würden, welche auf den Erd- druck Einfluß nehmen, und welche die Theorie zwar erwähnen, aber nicht messen konnte.

Seine kaiserliche Hoheit, der *Erzherzog Johann*, *General-Genie-Director*, stets bemüht, aus den verschiedenen Zweigen des menschlichen Wissens für den Staat Vortheile zu sammeln, geruheten mittelst hauptgenieämtlicher Verordnung vom 21. September 1826, N^{ro} 3084, die Ausführung solcher Versuche anzubefehlen, und beehrten den *Ingenieurs-Major v. Martony* mit dem höchsten Auftrage, dieselben anzuordnen und auszuführen,

welcher sich hierzu den Herrn *Ingenieurs*-Hauptmann *Dierkes* und Herrn *Ingenieurs*-Ober-Lieutenant *Reuter* zu Gehülften erbath.

Nachdem in dem Winter 1826 und 1827 die Herstellung des Apparates besorgt, und überhaupt alle Vorbereitungen getroffen waren, wurden die Versuche selbst bey dem ersten Eintritte der günstigen Witterung begonnen, und nur bey dem Eifer, mit welchem die beyden oben genannten Herren *Officiere* hierbey den *Ingenieurs-Major v. Martony* unterstützten, war es mitten unter den gehäuften und dringenden Geschäften eines bedeutenden Baues möglich, noch im Verlaufe desselben Jahres mit der größten Genauigkeit eine Reihe von Versuchen durchzuführen, durch welche der erhaltene höchste Auftrag vollständig, und wie man hofft, befriedigend erfüllt worden ist.

Ehe jedoch diese Versuche beschrieben werden, dürfte es zweckmäfsig seyn, die Theorie anzuführen, um den Leser in den Stand zu setzen, beyde dann selbst zu vergleichen.

Wir werden daher die Theorie des Herrn *Coulomb* im kurzen Auszuge, nur in so fern, als sie zur Verständlichkeit des Folgenden nöthig ist; Herrn *Français* Aufsatz aber in einer getreuen Uebersetzung in dem ersten Abschnitte dieser Abhandlung liefern, und glauben, dafs letzterer Vielen erwünscht seyn dürfte, da das *Journal*, in welchem Herrn *Français* Aufsatz enthalten ist, im Auslande schwer zu haben ist, und der sichere analytisch richtige Gang des Verfassers eben so angenehm als belehrend gefunden werden wird.

Der zweyte Abschnitt wird die angestellten Versuche und dabey gemachten Beobachtungen;

Der dritte, die Untersuchung über die Uebereinstimmung der Theorie mit den Versuchen; und

der vierte, einen Versuch über die Anwendung der Theorie bey wirklichen Bauführungen enthalten.

Erster Abschnitt.

Theorie.

Theorie des Herrn Coulomb.

Es sey $ABCD$ eine Erdanschüttung von unbestimmter Ausdehnung in Plan 1, Fig. 1. die Länge und Breite, und $AEFD$ was immer für ein Hinderniß, welches die Erde in der angezeigten Lage erhält.

Man weiß aus Erfahrung, daß, wenn dieses Hinderniß weicht, von der Erdanschüttung ein dreyseitiges *Prisma* ADG abfällt, und zwar dergestalt, daß die Fläche AG beynahe eben ist. Stellt man sich das abfallende *Prisma* ADG als einen festen Körper vor, so wird derselbe von seinem Gewichte angetrieben, auf der Hypothenuse AG herabzugleiten trachten, in dieser Bewegung aber durch die auf der Fläche AG Statt findende Reibung und *Cohaesion* der Erdtheile gehindert werden. Eben so kann man sich vorstellen, daß das Hinderniß $AEFD$ als eine, auf die verticale Seite AD senkrechte Kraft Q wirke, um sich dem Abfalle des *Prisma's* ADG zu widersetzen.

Nennet man das Gewicht des *Prisma's* ADG , P , und stellet durch PH die GröÙe dieser Kraft vor; so läßt sich dieselbe in zwey andere zerlegen, wovon die eine: PI , senkrecht auf AG , die andere: IH , aber gleichlaufend mit AG ist.

Nennet man ferner den Widerstand des Hindernisses $AEFD$, Q , und stellet durch QH diese Kraft vor; so läßt auch diese sich in zwey andere zerlegen, wovon die eine QL senkrecht auf AG , die andere: LH aber mit AG gleichlaufend ist.

Da nun das *Prisma ADG* sich nur mit der Kraft *IH* herab bewegen kann; dieser Kraft aber die *Cohaesion*, die Reibung und die Kraft *LH* entgegen wirken; so wird für den Stand des Gleichgewichtes

$$1). \quad . \quad . \quad IH = LH + \text{Cohaesion} + \text{Reibung}.$$

$$\text{Es sey: } AD = h$$

$$DG = x$$

$$\text{so ist: } AG = \sqrt{h^2 + x^2}$$

$$\text{ferner sey: } PH = P$$

$QH = Q$, so hat man wegen der ähnlichen Dreyecke *ADG* und *PHI*:

$$AG: DG = PH: PI$$

$$PI = \frac{Px}{\sqrt{h^2 + x^2}}, \text{ und eben so}$$

$$AG: AD = PH: HI$$

$$HI = \frac{Ph}{\sqrt{h^2 + x^2}}; \text{ ferner}$$

$$AG: AD = QH: QL$$

$$QL = \frac{Qh}{\sqrt{h^2 + x^2}}, \text{ und}$$

$$AG: DG = QH: LH$$

$$LH = \frac{Qx}{\sqrt{h^2 + x^2}}.$$

Drückt man das Gewicht eines Kubik-Fusses Erde durch (*d*) aus, (wenn *h* und *x* gleichfalls in Fuß ausgedrückt sind), dann ist

$$P = \frac{d h x}{2}$$

und wenn man durch (*y*) die *Cohaesion* der Erdtheile auf jeden Quadrat-Fuß ausdrückt, dann wird, weil diese Kraft auf der ganzen Fläche *AG* wirkt

$$\text{die } \text{Cohaesion} = y \sqrt{h^2 + x^2}.$$

Der Erfahrung gemäß ist die Reibung dem Drucke proportionirt, setzen wir daher: $\frac{1}{f}$ drücke das beständige Verhältniß des Druckes zur Reibung aus, so wird, weil der auf AG senkrechte Druck gleich $QL + PI = Qh + Px$ ist, der Ausdruck $\sqrt{h^2 + x^2}$ für die Reibung

$$\text{Reibung} = \frac{Qh + Px}{f \sqrt{h^2 + x^2}}.$$

Setzen wir die gefundenen Ausdrücke in obige Gleichung (1) für den Stand des Gleichgewichtes; so gestaltet sich diese, wie folgt:

$$\frac{Ph}{\sqrt{h^2 + x^2}} = \frac{Qx}{\sqrt{h^2 + x^2}} + \frac{Qh + Px}{f \sqrt{h^2 + x^2}} + y \sqrt{h^2 + x^2};$$

und daher ist:

$$Q = \frac{f dh^2 x - dh x^2 - 2yf(h^2 + x^2)}{2(fx + h)} =$$

$$2). \quad \frac{\frac{dhx}{2} \left(h - \frac{x}{f} \right) - y(h^2 + x^2)}{x + \frac{h}{f}}.$$

Dieses wäre sonach der Ausdruck für die horizontale Kraft Q , welche was immer für ein Erd-Prisma ADG auf der schiefen Ebene AG im Gleichgewichte zu erhalten im Stande ist. Es lassen sich aber unendlich viele Erd-Prismen denken, welche alle sich von der Anschüttung trennen könnten; diejenigen derselben, welche kleiner als ADG sind, werden zwar weniger Gewicht haben, dafür aber mit einer größeren Kraft IH sich auf der steileren Fläche AG herab bewegen; jene aber, welche größer sind als ADG , werden zwar mehr Gewicht haben, aber mit einer kleineren Kraft IH auf der sanfter geneigten Fläche AG herab gleiten. Unter allen diesen *Prismen* muß es daher eines geben, welches den größten Druck ausübt, oder was eins ist, welches die größte horizontale Kraft Q

erfordert, um auf der Anschüttung im Gleichgewichte erhalten zu werden. Dieses *Prisma* vom größten Drucke wird sich auch offenbar allein von der übrigen Anschüttung trennen, sobald das Hinderniß *A E F D* weichen sollte, und es wird daher dasjenige seyn, mit welchem der Widerstand im Gleichgewichte stehen muß, um die ganze Anschüttung zu halten; denn da jedes andere Erd-*Prisma* einen kleineren Druck ausübt, so wird der Widerstand, welcher das *Prisma* vom größten Drucke abzufallen hindert, um so mehr dem Drucke eines jeden anderen zu widerstehen fähig seyn.

Differenzirt man die Gleichung (2) in Bezug auf Q und x , und setzt $\frac{dQ}{dx} = 0$, so findet man x , die Grundlinie des *Prisma's* für den Fall des größten Druckes:

Die Rechnung ausgeführt, gibt

$$3). \quad x = -\frac{h}{f} \pm \sqrt{1 + \frac{1}{f^2}}$$

Wird nun dieser Werth für x in der Gleichung (2) substituirt, so erhält man den Ausdruck für die horizontale Kraft Q , welche dem *Prisma* des größten Druckes das Gleichgewicht zu halten im Stande ist.

Es ist dann

$$4). \quad Q = h^2 \left(\frac{-\frac{d}{f} - \frac{d}{f^2} \pm \sqrt{1 + \frac{1}{f^2}} \pm \frac{d}{f^2} \sqrt{1 + \frac{1}{f^2}}}{\sqrt{1 + \frac{1}{f^2}}} - \frac{y h \left(\frac{2}{f^2} + \frac{2}{f} \sqrt{1 + \frac{1}{f^2}} \right)}{\sqrt{1 + \frac{1}{f^2}}} \right)$$

und wenn man:

$$\frac{-\frac{d}{f} - \frac{d}{f^2} \pm \sqrt{1 + \frac{1}{f^2}} \pm \frac{d}{f^2} \sqrt{1 + \frac{1}{f^2}}}{\sqrt{1 + \frac{1}{f^2}}} = a$$

und

$$\frac{\frac{2}{f^2} + 2 + \frac{2}{f} \sqrt{1 + \frac{1}{f^2}}}{\sqrt{1 + \frac{1}{f^2}}} = b \text{ setzt; so}$$

erhält die Gleichung (4) folgende Gestalt:

$$5.) \quad Q = ah^2 - byh.$$

Der Ausdruck für x (3) zeigt, daß die Ausmassen des *Prisma's* vom größten Drucke bloß von der Reibung abhängig seyen, weil keine Function der *Cohaesion* darin vorkommt. Wenn daher die Reibung der Erde bekannt ist, so ist es auch der Druck der Erde ohne *Cohaesion*.

Coulomb setzt voraus, daß, wenn das Hinderniß $A E F D$ dem Drucke der Erde weicht, es umstürze, indem es sich um seine untere Kante E drehet.

Um das Moment dieses Druckes in Bezug auf den Punct E , als den Umdrehungspunct des Hindernisses $A E F D$, zu finden, stelle man sich die Anschüttung und das Hinderniß um die Elementar-Körper $B A \odot M$, und $A E O \odot$, vergrößert vor.

Der Druck des *Prisma's* vom größten Drucke in dem Elementar-Körper $B A \odot M$ ist

$$dQ = 2ahdh - bydh.$$

Nun wirkt aber diese Kraft in Bezug auf den Punct O des Hindernisses an dem Hebelsarme $EO = \odot D - AD$, und wenn man die Höhe $\odot D = h'$ nennet, dann ist der Hebelsarm $= h' - h$, und das *Moment* $= (2ahdh - bydh) \times (h' - h)$.

Das Integrale dieses Ausdruckes gibt das Moment des Druckes auf die ganze Höhe h' , wenn man daher dieses Moment M' nennet; so ist

$$M' = a \left(h^2 h' - \frac{2}{3} h^3 \right) + b \left(\frac{y h^2}{2} - y h h' \right);$$

und wenn man $h' = h$ setzt, um die Summe der *Momente* für die Höhe h zu erhalten, welche man durch M ausdrücken will, so ist:

$$6.) \quad M = \frac{ah^3}{3} - \frac{byh^2}{2}.$$

Wünscht man die Länge des Hebelsarmes zu wissen, so hat man bloß den Ausdruck für das Moment (6) durch den Ausdruck für die Kraft (5) zu dividiren, man hat dann

$$AQ = \frac{ah^3 - byh^2}{ah^2 - byh} = \frac{h}{3} - \frac{1}{6} \left(\frac{byh}{ah - by} \right)$$

Setzet man die *Cohaesion* gleich 0, so ist nach dem obigen Ausdrucke $AQ = \frac{h}{3}$, das ist: die Zusammengesetzte des Druckes gehet bey $\frac{1}{3}$ der Höhe, von unten an gerechnet, durch; hat die Erde aber *Cohaesion*, so ist der Hebelsarm um den ganzen zweyten Theil dieses Ausdruckes kürzer.

Was Herr *Prony* für die Vereinfachung der Theorie des Herrn *Coulomb* gethan habe, wollen wir vom Herrn *Français* selbst hören, dessen allgemeine Auflösung der obigen Theorie wir hier folgen lassen.

Allgemeine Auflösung durch Herrn Français.

Untersuchungen über den Druck der Erde, die Gestalt und die Ausmassen der Futtermauern, und über die Böschungswinkel der Erdaushebungen von Herrn Français, ehemahligen Hauptmann im Genie-Corps, Professor der Kriegskunst und Befestigungskunst an der königlichen Artillerie- und Ingenieurs-Schule zu Metz.

Aus dem Memorial de l'Officier du Génie Nro. 4, Anno 1820 Paris.

Die Theorie über den Druck der Erde ist für die Bauentwürfe überhaupt, besonders aber für die Bestimmungen der Stärke für Futtermauern an Festungswerken von so entscheidender Wichtigkeit, daß es wenig Fragen gibt, die in dem Zeitraume eines Jahrhunderts öfter als diese abgehandelt worden wären. Allein alle Auflösungen dieser Aufgabe, welche vor jener von *Coulomb* erschienen sind, sind entweder rein empirisch, oder erschöpfen nicht alle physischen Umstände, welche auf die Entscheidung der Frage Einfluß nehmen. Derjenige Umstand, welcher allen früheren Schriftstellern entschlüpfte, ist dasjenige Erd-Prisma, welches den größten Druck ausübt, und sich von dem übrigen Erdkörper wirklich zu

trennen trachtet. Dieser wahrhaft genialische und originelle Gedanke liefert den Schlüssel zur einzig richtigen Auflösung; und wenn *Coulomb* selbst in seinem *Memorial* von 1773 auch nicht eine vollständige und auf die einfachsten Ausdrücke zurück geführte Auflösung derselben lieferte; so bleibt es demungeachtet außer Zweifel, daß eben dieses *Memoire* den Keim einer vollkommenen Auflösung enthält, und daß daher bloß die Entwicklung derselben noch erübriget.

Herr *Prony* hat (in seinen *Recherches sur la poussée des terres*) *Coulomb's* Auflösung nicht nur wieder aufgenommen, sondern auch vereinfacht, indem er den *Coeficienten* der Reibung durch Functionen der natürlichen Böschung der Erde, und jenen der *Cohaesion* durch die Höhe ausgedrückt hat, bis auf welche sich dieselbe, ohne zu fallen, in verticaler Lage zu erhalten vermag.

Diese Auflösung ist jedoch nicht allgemeiner, als jene von *Coulomb*, denn sie ist nur anwendbar auf solche Futtermauern, deren innere Seite vertical ist. Zwar hat der Autor sie in der Folge auch auf jene Futtermauern ausdehnen wollen, deren innere Seite wie immer geneigt ist; allein hier sind insbesondere zwey Irrthümer zu bemerken:

1^{stens}. Das Prisma des größten Druckes ist in diesen Fällen veränderlich, während Herr *Prony* es constant voraus setzt.

2^{tens}. Die Richtung des Druckes bleibt dann nicht mehr wagrecht, wie der Verfasser annimmt, sondern wird senkrecht auf die Richtung der inneren Seite der Futtermauer.

Eine allgemeine Auflösung blieb daher noch immer zu wünschen übrig.

Herr *Mayniel*, Bataillons-Chef des *Ingenieurs-Corps*, unternahm dieselbe im Jahre 1808 in seinem *Traité experimental analytique et pratique de la poussée des terres*; man findet aber in diesem Werke neben den Fehler, welchen wir unter 2^{tens}, in *Prony's* Auflösung getadelt haben, noch unrichtige Betrachtungen über die Reibung und *Cohaesion*, durch welche für die Wirkung der Erdanschüttungen Werthe gefunden werden, welche in vielen Fällen ungenügend ausfallen.

Die daher noch immer wünschenswerthe allgemeine Auflösung soll den Gegenstand der gegenwärtigen Untersuchungen ausmachen, in wel-

cher wir jene Vereinfachungen zu benützen gedenken, welche wir Herrn *Prony* verdanken.

Wir werden die Aufgabe sowohl unter der Voraussetzung des Umsturzes, als auch jener des Gleitens auflösen, und die Ergebnisse beyder Hypothesen vergleichen. Da jedoch die Resultate der *Theorie* bloß das Gleichgewicht bestimmen, welches für die Ausführung nicht genügt, wo so viele Zufälligkeiten den Druck der Erde vermehren, und das Gleichgewicht zerstören können, und es daher nothwendig wird, diese Resultate zu vermehren; so wollen wir diese Vermehrung dergestalt bestimmen, daß unsere Futtermauern ganz die nämliche Stabilität erhalten, welche die meisten nach *Vauban* erbauten wirklich zeigen, indem sie die Probe schon ein Jahrhundert bestanden haben. Endlich wird uns eine unserer Formeln Gelegenheit geben, eine neue, von *Coulomb* bloß angedeutete Frage abzuhandeln, nämlich: die Bestimmung des Verhältnisses der Höhe zur Böschungsanlage einer Erdaushebung, damit sich die Erde unter den gegebenen Umständen bloß durch die eigene *Cohaesion* standhaft erhalte.

§. 1.

Theorie unter der Voraussetzung des Umsturzes der Futtermauer.

Plan 1., Fig. 2.

1) Nachdem der vorzüglichste Zweck einer Futtermauer darin besteht, das Abfallen der Anschüttung, welche zu halten sie bestimmt ist, zu verhindern; so wollen wir auch zuerst den Druck bestimmen, welchen dieselbe gegen die Seite *AD* der Futtermauer ausübt, voraus gesetzt, daß diese Seite mit der verticalen *GD* einen Winkel ε bilde.

Aus Erfahrung weiß man, daß, wenn Erde (durch das Weichen einer Futtermauer) abrollt, sie sich in der Gestalt eines dreyseitigen *Prisma's* *EDA*, und auf der Seite *ED* herabgleitend, von dem übrigen Erdkörper ablöse, welche Seite mit der inneren Fläche der Mauer einen Winkel ω bildet; — suchen wir daher den Widerstand, welchen die Seite *AD* dieser Bewegung entgegen setzen müßte, um sie nicht Platz greifen zu lassen, oder, was einerley ist, den Druck dieses *Prisma's* gegen die Seite *AD*.

Es sey *P* dieser Widerstand, welcher als eine auf die Fläche *AD* senkrecht wirkende Kraft betrachtet werden kann, bestimmt, das Herabgleiten des *Prisma's* längs der Fläche *ED* zu verhindern; wird dieselbe in

zwey andere Kräfte, die eine senkrecht auf diese Fläche, die andere mit ihr gleichlaufend zerlegt; so wird die erstere $P \cos. \varpi$ einen Druck gegen die Fläche ED ausüben, der durch den dort vorfindigen Widerstand aufgehoben wird; und die zweyte $P \sin. \varpi$ wird allein der Bewegung des Prisma's widerstehen. Stellt ferner Q das Gewicht des Prisma's vor, und wird auch diese Kraft in zwey zerlegt, wovon die eine senkrecht auf ED , die andere mit dieser Ebene gleichlaufend ist; so wird die erstere $Q \sin. (\varpi - \varepsilon)$ gegen diese Ebene drücken, und dieser Druck durch den Widerstand derselben aufgehoben werden; die zweyte aber $Q \cos. (\varpi - \varepsilon)$ wird allein das Prisma zu bewegen trachten. Die beyden Kräfte $P \sin. \varpi$ und $Q \cos. (\varpi - \varepsilon)$ sind sich daher gerade entgegen gesetzt, und wenn übrigens keine anderen Kräfte mehr im Spiele wären, so dürften nur diese beyden sich gleich gesetzt werden, um das Gleichgewicht auszudrücken; weil aber die Reibung und die *Cohaesion* der Bewegung des Erd-Prisma's entgegen wirken, so müssen diese beyden Kräfte von der Kraft $Q \cos. (\varpi - \varepsilon)$ abgezogen werden, welche die Bewegung hervor zu bringen strebt.

Die Reibung ist aber dem Drucke proportionirt: wenn f der Reibungs-*Coeficient* seyn soll, so wird die Reibung, welche dem Drucke der beyden Kräfte P und Q entspricht, durch $f [P \cos. \varpi + Q \sin. (\varpi - \varepsilon)]$ ausgedrückt werden können. Die *Cohaesion* ihrer Seits ist der Fläche proportionirt, und wenn c der *Coeficient* derselben ist, und man $GD = h$ setzt; so wird der Ausdruck für die Kraft der *Cohaesion* =

$$= \frac{ch}{\cos. (\varpi - \varepsilon)}$$

Zieht man daher diese beyden hindernden Kräfte von der Kraft $Q \cos. (\varpi - \varepsilon)$ ab, so wird das Gleichgewicht Statt finden, wenn:

$$(1). \quad P \sin. \varpi = Q \cos. (\varpi - \varepsilon) - f [P \cos. \varpi + Q \sin. (\varpi - \varepsilon)] - \frac{ch}{\cos. (\varpi - \varepsilon)}$$

hieraus findet man

$$(2). \quad P = Q \frac{\left[\cos. (\varpi - \varepsilon) - f \sin. (\varpi - \varepsilon) \right] - \frac{ch}{\cos. (\varpi - \varepsilon)}}{\sin. \varpi + f \cos. \varpi}$$

$GD = 1: \cos$
 $GD = \frac{h}{\cos \varpi - \varepsilon}$

2) Ehe wir noch weiter gehen, wollen wir die obige Gleichung dadurch vereinfachen, daß wir f durch *Functionen* des natürlichen *Talus* ausdrücken, und statt Q , dessen Werth substituiren.

Es sey F, D, T der Winkel, welchen die natürliche Böschung mit dem Horizont bildet, und a das *Complement* desselben. Weil auf der Ebene der natürlichen Böschung die Reibung der Kraft, welches das Prisma herab zu gleiten antreibt, das Gleichgewicht hält; so hat man, wenn Q' das Gewicht des *Prisma's* ausdrückt

$$Q' \cos. a = f Q' \sin. a$$

und daher

$$f = \frac{\cos. a}{\sin. a} = \cot. a$$

Substituirt man diesen Werth von f in der Gleichung (2), so erhält man

$$P = Q \left[\frac{\cos. (\omega - \varepsilon) - \cot. a \sin. (\omega - \varepsilon)}{\sin. \omega + \cot. a \cos. \omega} - \frac{ch}{\cos. (\omega - \varepsilon)} \right] =$$

$$= \frac{Q \sin. (a + \varepsilon - \omega)}{\cos. (a - \omega)} - \frac{ch \sin. a}{\cos. (a - \omega) \cos. (\omega - \varepsilon)}$$

Ist (p) das Gewicht der Einheit des Erd-Volumens, dann ist

$$Q = \frac{1}{2} p h^2 [Tang. (\omega - \varepsilon) + Tang. \varepsilon]$$

Dieser Werth verändert die vorhergegangene Gleichung in folgende:

$$P = \frac{\frac{1}{2} p h^2 [Tang. (\omega - \varepsilon) + Tang. \varepsilon] \sin. (a + \varepsilon - \omega)}{\cos. (a - \omega)} - \frac{ch \sin. a}{\cos. (a - \omega) \cos. (\omega - \varepsilon)}$$

$$= \frac{1}{2} p h^2 [Tang. (\omega - \varepsilon) + Tang. \varepsilon] [Tang. (a - \omega) \cos. \varepsilon + \sin. \varepsilon] -$$

$$- \frac{ch \sin. a [Tang. (a - \omega) + Tang. (\omega - \varepsilon)]}{\sin. (a - \varepsilon)}$$

$$(3) \dots = \frac{1}{2} p h^2 \cos. \varepsilon (Tang. (\omega - \varepsilon) + Tang. \varepsilon) (Tang. (a - \omega) + Tang. \varepsilon) -$$

$$- ch \cos. \varepsilon (1 + Tang. \varepsilon \cot. (a - \varepsilon)) (Tang. (a - \omega) + (Tang. (\omega - \varepsilon)))$$

welche man in folgende verwandeln kann:

$$(4) \dots P = Tang. (\omega - \varepsilon) Tang. (a - \omega) (\frac{1}{2} p h^2 + ch Tang. a) +$$

$$+ ((\frac{1}{2} p h^2 Tang. \varepsilon - ch) Tang. a) \cos. \varepsilon (1 - Tang. \varepsilon Tang. (a - \varepsilon))$$

3) Dieser Ausdruck gibt den Werth für den Druck von welchem immer für einem Erd-Prisma, welches sich ablösen wollte; dasjenige aber, wel-

ches sich wirklich von dem Erdkörper abtrennen wird, kann nur jenes seyn, welches den größten Druck unter allen den übrigen ausübt. Der Winkel ω muß daher dergestalt bestimmt werden, daß P ein Größtes wird.

Differenzirt man daher die Gleichung (4) in Bezug auf (ω) , und setzt $\frac{dP}{d\omega} = 0$, so erhält man

$$\frac{\text{Tang. } (a - \omega)}{\text{Cos.}^2 (\omega - \varepsilon)} - \frac{\text{Tang. } (\omega - \varepsilon)}{\text{Cos.}^2 (a - \omega)} = 0$$

und daher

$$\text{Sin. } 2 (a - \omega) = \text{Sin. } 2 (\omega - \varepsilon)$$

folglich

$$a - \omega = \omega - \varepsilon$$

$$(5). \quad \dots \text{ und } \omega = \frac{1}{2} (a + \varepsilon).$$

Es ist daher der Winkel, welchen die von der Erde sich ablösende Seite des Prisma's vom größten Drucke mit der inneren Seite der Mauer bildet, die Hälfte von jenem Winkel, welcher durch die schiefe Ebene der natürlichen Böschung, und eben jener inneren Seite der Mauer gebildet wird. Herr *Prony* hat für den Fall, wenn die innere Seite der Mauer vertical ist, ganz das nämliche Resultat gefunden, allein dieser Winkel war nun noch für den Fall zu finden, wenn die innere Seite der Mauer was immer für eine Neigung hat.

4) Aus dem Werthe des Winkels, welcher das Prisma vom größten Drucke bestimmt, folgt, daß derselbe bloß von der Reibung, und keineswegs von der *Cohesion* abhängig sey, und daß er daher für gesetzte, wie für frisch aufgehäuften Erde der nämliche ist. Allein hieraus darf nicht gefolgert werden, daß der größte Druck gleichfalls durch die *Cohesion* nicht geändert werde; denn, wenn der gefundene Werth für (ω) in der Gleichung (3) substituirt wird, so hat man:

$$(6). \quad \dots \quad P = \left(\frac{1}{2} p h^2 [\text{Tang. } \frac{1}{2} (a - \varepsilon) + \text{Tang. } \varepsilon]^2 - 2 c h \text{Tang. } \frac{1}{2} (a - \varepsilon) \right) \times \\ \times (1 + \text{Tang. } \varepsilon \text{ Cot. } (a - \varepsilon)) \text{Cos. } \varepsilon.$$

Der Werth für den größten Druck, welcher zeigt, daß der Druck frisch aufgehäufter Erde, um den ganzen zweyten Theil des zweyten Gliedes obiger Gleichung größer ist, als jener der gesetzten (*cohaerirenden*) Erde.

Plan 1, Fig. 3. Der eben gefundene Werth für den größten Druck setzt voraus, daß der Winkel ADT , welchen das zu erhaltende Erdreich mit der Seite AD macht, ein stumpfer sey, oder daß er (wenn man durch π den Halbkreis ausdrückt) gleich sey $\frac{1}{2} \pi + \varepsilon$; wird dieser Winkel aber spitz voraus gesetzt, so muß in der Gleichung (6) ε in $-\varepsilon$ umgewandelt werden; für diesen Fall ist daher

$$(7). \quad P = \left[\frac{1}{2} p h^2 \left(\text{Tang. } \frac{1}{2} (a + \varepsilon) - \text{Tang. } \varepsilon \right)^2 - 2 c h \text{Tang. } \frac{1}{2} (a + \varepsilon) [1 - \text{Tang. } \varepsilon \text{Cot. } (a + \varepsilon)] \right] \text{Cos. } \varepsilon.$$

und soll die innere Seite der Mauer vertical seyn, dann ist $\varepsilon = 0$, und der Werth für den größten Druck wird

$$(8). \quad P = \frac{1}{2} p h^2 \text{Tang.}^2 \frac{1}{2} a - 2 c h \text{Tang. } \frac{1}{2} a.$$

5) Diese letzte Gleichung verschafft uns ein Mittel, um den *Coeficienten* (c) der *Cohaesion* durch einen sehr einfachen Versuch bestimmen zu können. Denn wenn wir $P = 0$ setzen, so haben wir offenbar jenen Fall ausgedrückt, in welchem der größte Druck Null ist, und suchen wir sonach aus dieser Gleichung h , so wird der so gefundene Werth für h (welchen wir h' nennen wollen) diejenige Höhe ausdrücken, bis auf welche die Erde sich vertical abstechen läßt, ohne einzufallen.

Führt man das eben Gesagte wirklich aus; so erhält man:

$$h' = \frac{4 c}{p \text{Tang. } \frac{1}{2} a};$$

und dieß gibt

$$(9). \quad c = \frac{1}{4} p h' \text{Tang. } \frac{1}{2} a;$$

welcher Ausdruck zu erkennen gibt, daß der *Coeficient* der *Cohaesion* von der specifischen Schwere der Erde, von ihrer natürlichen Böschung und von der Höhe abhängig sey, bis auf welche die Erde sich vertical abstechen läßt, ohne einzufallen.

Fig. 2 und 3.

6) Wenn man eben so in den Gleichungen (6) und (7) $P = 0$ setzt; so wird man abermahls den Fall ausdrücken, in welchem der größte Druck bey einer Böschung der Erde, welche mit dem Horizont einen Winkel $\frac{1}{2} \pi + \varepsilon$ oder $\frac{1}{2} \pi - \varepsilon$ bildet, gleich Null ist. Löset man dann die so

veränderten Gleichungen in Bezug auf h auf, so werden die erhaltenen Werthe von h , welche wir durch h'' ausdrücken wollen, die Höhe angeben, bis zu welcher die Erde sich in dieser Böschung, ohne einzufallen, zu erhalten vermag.

Nach vollzogener Rechnung erhält man

$$(10). \quad . \quad . \quad . \quad h'' = \frac{4 c \operatorname{Tang.} \frac{1}{2} (a \mp \varepsilon) (1 \pm \operatorname{Tang.} \varepsilon \operatorname{Cot.} (a \mp \varepsilon))}{p [\operatorname{Tang.} \frac{1}{2} (a \mp \varepsilon) \pm \operatorname{Tang.} \varepsilon]^2}$$

oder wenn für c der Werth aus (9) substituirt wird:

$$h'' = \frac{h' \operatorname{Tang.} \frac{1}{2} a \operatorname{Tang.} \frac{1}{2} (a \mp \varepsilon) (1 \pm \operatorname{Tang.} \varepsilon \operatorname{Cot.} (a \mp \varepsilon))}{[\operatorname{Tang.} \frac{1}{2} (a \mp \varepsilon) \pm \operatorname{Tang.} \varepsilon]^2}$$

welche Gleichung in folgende verwandelt werden kann:

$$(11). \quad . \quad . \quad . \quad h'' = h' \frac{\operatorname{Cos.} \varepsilon \operatorname{Sin.}^2 \frac{1}{2} a}{\operatorname{Sin.}^2 \frac{1}{2} (a \pm \varepsilon)},$$

welche bey dem Gebrauche der *Logarithmen* besonders bequem ist.

In diesen letzten drey Gleichungen beziehen sich die oberen Zeichen auf den Böschungswinkel $\frac{1}{2} \pi + \varepsilon$, und die unteren auf jenen $\frac{1}{2} \pi - \varepsilon$, das heist: die oberen Zeichen gelten, wenn ε bejahend, und die unteren, wenn ε verneinend zu nehmen ist. Diese Bemerkung gilt für die ganze Folge dieser Untersuchungen.

7) Wenn man in den Gleichungen (6) und (7), welche den Werth des größten Druckes angeben, der Kürze wegen

$$(12). \quad . \quad . \quad . \quad t = \operatorname{Tang.} \frac{1}{2} (a \mp \varepsilon) \pm \operatorname{Tang.} \varepsilon \text{ setzt, und ferner noch für } (c) \text{ dessen, aus der Gleichung (10) gezogenen Werth substituirt, so verwandeln sich dieselben in folgende:}$$

$$(13). \quad . \quad . \quad . \quad P = \frac{1}{2} p t^2 h (h - h'') \operatorname{Cos.} \varepsilon.$$

Dieser Ausdruck für den größten Druck hat die größtmöglichste Einfachheit, und jede der darin vorkommenden Grölsen hat ihre eigene charakteristische und vollkommen bestimmte Bedeutung: denn p ist das specifische Gewicht der Erde; $\operatorname{Cos.} \varepsilon$ der *Sinus* des Winkels $\frac{1}{2} \pi \pm \varepsilon$ der zu haltenden Erde; h ist die ganze Höhe der Anschüttung; h'' diejenige Höhe, bis zu welcher die Erde, ohne einzufallen, sich unter dem Böschungswinkel

$\frac{1}{2}\pi + \varepsilon$ erhalten kann; und t endlich drückt das Verhältniß der Grundlinie des Prisma's vom größten Drucke zu dessen Höhe GD aus.

Wenn der Böschungswinkel der zu erhaltenden Erde ein rechter wird, oder die innere Seite der Mauer vertical ist, dann ist $\varepsilon = 0$, $h'' = h'$, $t = \text{Tang. } \frac{1}{2} a$, und der Werth für den größten Druck in diesem Falle

$$(14). \quad P = \frac{1}{2} p \text{Tang.}^2 \frac{1}{2} a. h (h - h').$$

Der allgemeine Ausdruck (13) ist daher kaum mehr zusammen gesetzt, als dieser Letzte für einen besonderen Fall geltende, besonders wenn der Werth von h'' durch einen Versuch unmittelbar gefunden werden kann.

Plan 1, Fig. 2 et 3.

8) Setzen wir nun voraus, dieser größte Druck P trachte die Futtermauer $ABCD$ dergestalt umzustürzen, daß diese sich um die äußere Kante C drehe; und suchen wir unter dieser Voraussetzung das Moment der Kraft in Bezug auf diese Kante. Wenn der Punct, auf welchen die Kraft P wirkend gedacht werden kann, bekannt wäre; so würde die aus diesem Puncte auf die Seite AD gezogene Senkrechte, die Richtung der Kraft, so wie die aus dem Puncte C auf die Richtung der Kraft geführte Senkrechte die Länge des Hebelsarmes bestimmen, welche letztere mit P multiplicirt, das gesuchte Moment gibt. Weil jedoch der Punct, in welchem die Kraft P wirkend angenommen werden kann, nicht bekannt ist; so wollen wir das Moment der Kraft unmittelbar zu finden trachten.

Der Druck einer Anschüttung von der Höhe h ist durch den Ausdruck (13) gegeben, derjenige, von welcher immer für einer Höhe z wird demnach seyn

$$\frac{1}{2} p t^2 z (z - h'') \text{Cos. } \varepsilon.$$

Wird dieser Ausdruck differenzirt, so hat man für den Druck eines Elementar-Prisma's

$$(15). \quad \frac{1}{2} p t^2 (2z - h'') dz \text{Cos. } \varepsilon.$$

Dieser Druck wirkt aber offenbar auf einer Höhe $HL = h - z$; zieht man daher aus H eine Senkrechte auf AD , so hat man die Richtung des Elementar-Druckes, und CM senkrecht auf diese Richtung gezogen, bestimmt die Länge des dazu gehörigen Hebelsarmes.

Ist ferner die Dicke der Futtermauer am Fusse derselben $CD = x$; so ist

$$CM = DH + DN = \frac{h - z}{\cos. \varepsilon} + x \sin. \varepsilon.$$

Multiplirt man sonach den Elementar-Druck (15) durch den obigen Werth für den Hebelsarm, und stellt durch M das Moment des ganzen Druckes vor, so erhält man für das Moment des Elementar-Druckes

$$(16). \quad dM = \frac{1}{2} p t^2 [(2z - h'') (h - z) + (2z - h'') x \sin. \varepsilon \cos. \varepsilon] dz.$$

Sucht man das Integrale dieser Gleichung für die ganze Höhe h , dergestalt, daß dasselbe gleich Null wird, wenn $h = h''$ wird, so erhält man für das Moment des ganzen Druckes

$$(17). \quad M = \frac{1}{2} p t^2 \left[\frac{1}{3} (h - h'')^2 (h + \frac{1}{2} h'') + h (h - h'') x \sin. \varepsilon \cos. \varepsilon \right].$$

9) Wünscht man die Länge des Hebelsarmes zu kennen, an welchem dieser Druck wirkt, dann hat man bloß das Moment durch die Kraft zu dividiren, nämlich M durch P , dieß gibt

$$CM = \frac{(h - h'') (h + \frac{1}{2} h'')}{3 h \cos. \varepsilon} + x \sin. \varepsilon$$

Die Entfernung des Punctes aber, in welchem die Kraft wirkt, von der inneren Kante des Fusses der Mauer ergibt sich aus obiger; nämlich:

$$DH = \frac{(h - h'') (h + \frac{1}{2} h'')}{3 h \cos. \varepsilon} = \frac{\frac{1}{3} h}{\cos. \varepsilon} - \frac{\frac{1}{6} h''}{h} \frac{(h + h'')}{\cos. \varepsilon}$$

Hieraus sieht man, daß die Zusammengesetzte des Druckes an einem Punct der inneren Mauerwand wirkt, welcher etwas tiefer liegt, als $\frac{1}{3}$ tel der Mauerhöhe, von unten an gerechnet, beträgt; und daß ohne *Cohaesion*, jedoch mit der Reibung die Zusammengesetzte des Erddruckes gerade wie bey dem flüssigen angebracht sey.

10) Jetzt, wo uns das Moment des Erddruckes bereits bekannt ist, wollen wir weiter noch den Widerstand zu bestimmen suchen, welchen die Futtermauer dem Umsturze entgegen setzt, indem wir voraus setzen werden, daß in diesem Falle die Drehbewegung um den Punct C geschehen werde. Ferner setzen wir noch voraus, daß das Mauerwerk sich nicht trennen könne, und daß sonach die ganze Futtermauer in einem Stücke umgeworfen werde, indem sie nur durch ihr Gewicht widerstehet.

Wir werden der Allgemeinheit wegen, und um in einer einzigen Formel sowohl die *Escarpe*- als *Contreescarpe*-Mauern zu begreifen, voraus setzen, daß die Anschüttung und die Futtermauer verschiedene Höhen haben, was der Fall bey den Futtermauern der Festungswerke wirklich ist. In diesem Falle bedeutet H die Höhe der Mauer, und h die reducirte Höhe der Anschüttung, welche die Ueberhöhung der Brustwehre in sich begreift; das heißt: daß man für die Höhe dieser letzteren jene setzt, welche erhalten wird, wenn man die unregelmäßige Figur der Ueberhöhung in ein Trapez verwandelt, dessen beyde nicht horizontale Seiten in den Verlängerungen der beyden nicht horizontalen Seiten des Prisma's vom größten Drucke liegen.

Dieses voraus gesetzt, sey (H) die Höhe der Futtermauer, (x) die Dicke derselben CD am Fusse; (n) das Verhältniß der Anlage der äußeren Mauerböschung zur Höhe der Mauer, so, daß also $BR = nH$ sey, und p' das Gewicht der Einheit des Mauer-Volum's; so wird das Moment der ganzen Futtermauer $ABCD$ gleich seyn: dem Momente des Rechteckes $GDCR$, weniger dem Momente des Dreyeckes BCR , und weniger dem Momente des Dreyeckes GDA . Nennen wir demnach dieses Moment M , so ist

$$(18). \quad \dots \quad M = p' H \left[\frac{1}{2} x^2 - \frac{1}{6} n^2 H^2 + \frac{1}{2} H \text{Tang. } \varepsilon (x + \frac{1}{3} H \text{Tang. } \varepsilon) \right] = \\ = \frac{1}{2} p' H \left[x^2 + x H \text{Tang. } \varepsilon + \frac{1}{3} H^2 (\text{Tang.}^2 \varepsilon - n^2) \right]$$

Damit das Gleichgewicht Statt finde zwischen dem Drucke der Erde und dem Widerstande der Mauer, müssen die beyden Momente dieser Kräfte gleich seyn; mithin muß

$$(19). \quad \dots \quad \frac{1}{2} p' H \left[x^2 + x H \text{Tang. } \varepsilon + \frac{1}{3} H^2 (\text{Tang.}^2 \varepsilon - n^2) \right] = \\ = \frac{1}{2} p t^2 \left[\frac{1}{3} (h - h'')^2 (h + \frac{1}{2} h'') + h (h - h'') x \text{Sin. } \varepsilon \text{Cos. } \varepsilon \right];$$

hieraus findet man

$$(20). \quad \dots \quad x = H \left\{ \pm \frac{1}{2} \text{Tang. } \varepsilon \left(1 - \frac{p t^2 \cdot h (h - h'') \text{Cos.}^2 \varepsilon}{p' H^2} \right) + \right. \\ + \sqrt{\left[\frac{1}{3} \cdot \frac{p t^2 \cdot (h - h'')^2 (h + \frac{1}{2} h'')}{p' H^3} + \right.} \\ + \frac{1}{4} \text{Tang.}^2 \varepsilon \left(1 - \frac{p t^2 h \cdot (h - h'') \text{Cos.}^2 \varepsilon}{p' H^2} \right)^2 - \\ \left. \left. - \frac{1}{3} (\text{Tang.}^2 \varepsilon - n^2) \right] \right\}.$$

Dieses ist der allgemeine Ausdruck, welcher die Dicke einer Futtermauer für den Stand des Gleichgewichtes bestimmt, wenn man bey dem Drucke der Erde die Reibung und *Cohaesion* berücksichtigt, und obwohl derselbe in Betracht der großen Zahl von Daten und Bedingungen eben nicht sehr verwickelt ist, so kann er noch, indem man jene vereinfacht, sich von selbst abkürzen.

Setzet man nämlich die innere Seite der Futtermauer vertical voraus, dann ist $\varepsilon = 0$, $h'' = h'$, $t = \text{Tang. } \frac{1}{2} a$, und die vorige Formel verwandelt sich in folgende:

$$(21). \quad . . . \quad x = H \sqrt[{\frac{1}{3}}]{\frac{p \text{Tang.}^2 \frac{1}{2} a}{p'} \cdot \frac{(h - h')^2 (h + \frac{1}{2} h')}{H^2} + \frac{1}{3} n^2}}$$

11) Setzet man die *Cohaesion* gleich Null (was der Fall bey Anschüttungen mit frisch aufgelockerter Erde ist); dann ist $h' = 0$, $h'' = 0$, und die Formeln (20) und (21) verwandeln sich in folgende:

Mauern auf beyden Seiten geneigt:

$$(22). \quad . . . \quad x = H \left\{ \pm \frac{1}{2} \text{Tang. } \varepsilon \left(1 - \frac{p t^2}{p'} \cdot \frac{h^2}{H^2} \text{Cos.}^2 \varepsilon \right) + \sqrt[{\frac{1}{3}}]{\frac{p t^2}{p'} \cdot \frac{h^3}{H^3} + \frac{1}{4} \text{Tang.}^2 \varepsilon \left(1 - \frac{p t^2}{p'} \cdot \frac{h^2}{H^2} \text{Cos.}^2 \varepsilon \right)^2 - \frac{1}{3} \left(\text{Tang.}^2 \varepsilon - n^2 \right)} \right\}.$$

Mauern an der inneren Seite vertical:

$$(23) \quad . . . \quad x = H \sqrt[{\frac{1}{3}}]{\frac{p \text{Tang.}^2 \frac{1}{2} a}{p'} \cdot \frac{h^3}{H^3} + \frac{1}{3} n^2}};$$

und wenn man unter den nämlichen Voraussetzungen noch annimmt, daß die beyden Seiten der Mauer vertical seyen: so ist

$$n = 0,$$

und die letzte Formel verwandelt sich für:

Mauern auf beyden Seiten vertical:

$$(24) \quad . . . \quad x = h \text{Tang. } \frac{1}{2} a \sqrt[{\frac{1}{3}}]{\frac{p h}{p' H}}.$$

12) Hiermit wäre daher die vorgelegte Frage der Theorie nach vollkommen aufgelöst, und zwar mit Berücksichtigung aller dabey vorkommenden physischen Einwirkungen, mit Ausnahme jedoch der Reibung an der inneren Seite der Mauer, welche aber so unbedeutend ist, daß wir nach dem Beispiele von *Coulomb* und *Prony* um so mehr dieselbe vernachlässigen zu können geglaubt haben, da diese Vernachlässigung zu Gunsten der Stabilität ist, und die Mauerstärke etwas größer ausfallen macht. Obwohl sonach die Aufgabe theoretisch als aufgelöst betrachtet werden kann; so wollen wir doch nunmehr jene Modificationen untersuchen, welche die Resultate der Theorie erhalten müssen, um sie für die Ausführung anwendbar zu machen.

§. 2.

Anwendung.

13) Die Formeln (20) ... (24) sind unter der Voraussetzung, daß das Gleichgewicht im strengen Sinne bestehe, abgeleitet worden; es würde daher in der Ausführung eine durch was immer für Zufälligkeiten herbey geführte Vermehrung des Erddruckes, z. B. ein Regen, ein Frost etc. das Gleichgewicht aufheben, und die Mauer umstürzen. Zwar hat man in den Formeln (22), (23) und (24) auf die *Cohaesion* keine Rücksicht genommen, eine Annahme, welche zur Vermehrung der Stabilität der Mauer beyträgt; allein, das ist noch nicht hinreichend, denn in der Ausführung ist die *Cohaesion* wirklich gleich Null, weil man bey dem Baue stets genöthiget ist, die Erde so weit abzugraben, daß in den meisten Fällen der hinter der Mauer mit aufgelockerter Erde auszusüttende Raum von dem Prisma des größten Druckes nicht viel verschieden ist.

Wir müssen daher die durch unsere Formeln zu findenden Werthe vermehren, um in der Anwendung sicher zu gehen; es handelt sich hierbey nur darum, zu wissen: wie groß diese Vermehrung seyn müsse, und nach welchen Grundsätzen die Größe derselben zu bestimmen sey.

Natürlich scheint es, diese Vermehrung dergestalt zu bestimmen, daß das Moment der Ueberwucht des Widerstandes der Mauer dem Momente des größten Erddruckes so proportionirt sey, daß das Verhältniß beyder Momente mit der Erfahrung übereinstimme; was eigentlich dahin hinaus

läuft: den Erddruck durch einen aus der Erfahrung abstrahirten beständigen *Coeficienten* zu multipliciren. Die besten Erfahrungen über diesen Gegenstand liefern uns aber die Futtermauern *Vauban's*, denn diese haben durch ein Jahrhundert nicht nur dem anfänglichen Erddrucke, sondern auch allen zufälligen Vermehrungen desselben widerstanden.

Wir werden uns daher dieser Futtermauern bedienen, um jenen *Coeficienten* zu bestimmen, mit welchem der Erddruck, welchen unsere Formeln geben, zu multipliciren wäre, damit die gefundenen Resultate in der Anwendung den Mauern die nämliche Stabilität verschaffen, welche die nach *Vauban* aufgeführten besitzen, von welchen letztern dieser *Coeficient* abgeleitet worden ist.

14) Anstatt daher, wie es in der Gleichung (19) geschehen ist, das Moment des Widerstandes der Futtermauer dem Momente des Erddruckes gleich zu setzen, werden wir vielmehr dieses letztere mit einem beständigen Factor k multipliciren, und aus dieser neu entstandenen Gleichung x suchen; es ist aber, um dieß zu erwirken, bloß nöthig: in allen Formeln, welche aus der Gleichung (19) abgeleitet wurden, kp anstatt p zu setzen.

Dieß voraus gesetzt, wissen wir ferner, daß bey den Futtermauern nach *Vauban* der Werth für x ist:

$$(25). \quad . \quad . \quad . \quad x = 1,^{metre} 624 + 0,2.H.$$

Nachdem aber diese Futtermauern an der inneren Seite vertical sind, und nach außen eine Böschung haben, deren Anlage ein Fünftheil der Höhe beträgt; so sind sie mit unserer Formel (23) zu vergleichen, welche, wenn man statt p , kp , und $n = 0,2$ setzt, sich in folgende verwandelt:

$$x = H \sqrt{\left(\frac{1}{3} \cdot \frac{kp \cdot \text{Tang.}^2 \frac{1}{2} a}{p'} \cdot \frac{h^3}{H^3} + 0,0133 \right)}.$$

Setzet man diese beyden Werthe von x sich gleich, und sucht aus der Gleichung k , so erhält man:

$$(26). \quad . \quad . \quad . \quad k = \frac{3 p'}{p \cdot \text{Tang.}^2 \frac{1}{2} a} \cdot \frac{H[(1,^{m} 624 + 0,2.H)^2 - 0,0133.H^2]}{h^3}$$

Nimmt man $\alpha = 45^\circ$, und $\frac{p}{p'} = \frac{2}{3}$, (was nach *Belidor* schon zu *Vauban's* Zeiten als das mittlere Verhältniß der Erd- und Mauergerichte galt), so wird in obiger Gleichung:

$$(27). \quad k = 26,228 \cdot H \left[\frac{(1,624 + 0,2 \cdot H)^2 - 0,0133 \cdot H^2}{h^5} \right].$$

Diese Formel gibt das Verhältniß des Widerstand-Momentes der Futtermauern *Vauban's* zu dem Momente des Druckes der Erde. Um dieselbe auf dessen Escarpe-Mauern anzuwenden, kann man im Mittel $h = H + 2^{metre}$ setzen, und wenn man $H = 10^{metre}$ (die mittlere Höhe der meisten dieser Mauern) setzt; findet man $k = 1,79$; das ist: nur um $\frac{1}{100}$ weniger als $1 + \frac{4}{5}$. *Vauban* hatte sonach bey dem größten Theile seiner Futtermauern das Moment der Mauer um $\frac{4}{5}$ stärker genommen, als das Moment des Erddruckes. Wir glauben daher, daß es angemessen sey, sich an diesen Erfahrungssatz zu halten, und in den Formeln (20) und (24) 1, 8. p anstatt p' zu substituiren.

Sollten sich jedoch unter den Mauern *Vauban's* welche finden, die bey einer Höhe von 15^{metre} und einer mittleren Gattung der Erde und des Mauerwerkes bis jetzt sich standhaft erhalten haben; dann würde man für diesen Fall $k = 1,47$ finden, und das Moment des Widerstandes der Futtermauer wäre nicht ganz um die Hälfte stärker, als das Moment des Erddruckes; so, daß man sich dann begnügen könnte, in unseren Formeln 1, 5. p , anstatt p' zu substituiren, um die nämliche Stabilität, wie *Vauban*, bey einer Höhe von 15^{metre} zu erhalten.

Vergleicht man die Formel (27) mit denen von *Vauban* zuletzt aufgeführten *Contrescarpe*-Mauern, bey welchen $h = H$ und $x = 0,9745 + 0,2 \cdot H$ ist; so findet man, wenn $H = 6^{metre}$ angenommen wird, $k = 3,79$, und für $H = 7^{metre}$, $k = 3,02$. Es ergibt sich hieraus (weil $k = 1,79$ hinlängliche Stabilität verschafft), daß das Moment des Widerstandes dieser Mauern, wenn solche eine Höhe von 6^{metre} haben, mehr als zwey Mahl zu stark, und wenn die Höhe 7^{metre} beträgt, mehr als ein und ein halb Mahl zu stark ausfiele.

15) Wenn wir den beständigen Factor, welchen wir so eben bestimmt haben, in unsere Formeln (22), (23) und (24) aufnehmen; so erhalten wir folgende für die Anwendung brauchbare Formeln:

Für Mauern, deren beyde Seiten geneigt sind:

$$(28). \quad \dots x = H \left\{ \pm \frac{1}{2} \text{Tang. } \varepsilon \left(1 - \frac{1,8. p t^2}{p'} \cdot \frac{h^2}{H^2} \cdot \text{Cos.}^2 \varepsilon \right) + \right. \\ \left. + \sqrt{\left[\frac{0,6. p t^2}{p'} \cdot \frac{h^3}{H^3} + \frac{1}{4} \text{Tang.}^2 \varepsilon \left(1 - \frac{1,8. p t^2}{p'} \cdot \frac{h^2}{H^2} \cdot \text{Cos.}^2 \varepsilon \right)^2 \right.} \right. \\ \left. \left. - \frac{1}{3} \left(\text{Tang.}^2 \varepsilon - n^2 \right) \right] \right\}.$$

Wenn bloß die äußere Seite geneigt ist:

$$(29). \quad \dots x = H \sqrt{\left[\frac{0,6. p. \text{Tang.}^2 \frac{1}{2} a}{p'} \cdot \frac{h^3}{H^3} + \frac{1}{3} n^2 \right]};$$

Wenn die beyden Seiten vertical sind:

$$(30). \quad \dots x = h \text{Tang. } \frac{1}{2} a \sqrt{\left(\frac{0,6. p}{p'} \cdot \frac{h}{H} \right)}.$$

Wollte man auch jene *Cohaesion* in Anschlag bringen, welche die Erde durch lagenweises Anstoßen während der Anschüttung künstlich erhalten kann, so müßte der beständige Factor k in die Formeln (20) und (21) eingeführt werden, wornach diese dann zur Bestimmung der Mauerstärke dienen würden; in diesem Falle müßte aber noch durch Versuche mit gestoßener Erde der Werth von h' oder h'' gefunden werden; allein abgesehen davon, daß dieser Werth gewöhnlich nur sehr klein seyn kann, hängt diese *Cohaesion* auch von der größeren oder minderen Sorgfalt ab, welche bey dem Anstoßen angewendet worden ist; bey dieser Annahme würde man daher die Stabilität der Mauer von dem Fleiße der Arbeiter abhängig machen, was uns ganz unzulässig scheint. Darum schlagen wir vor, für die Ausführung stets $h' = 0$ voraus zu setzen, und für die Berechnung der Stabilität der Futtermauer bloß die Formeln (28), (29) und (30) zu gebrauchen.

16) Bisher haben wir bloß die Dicke der Futtermauer bestimmt, ohne auf ihre Form Rücksicht zu nehmen; gegenwärtig wollen wir untersuchen, welche Form die vortheilhaftere sey.

Es sey y die obere Mauerdicke, und S die Fläche des Querschnittes; so ist

$$(31). \quad . \quad . \quad . \quad y = x - H (n \pm \text{Tang. } \epsilon).$$

$$(32). \quad . \quad . \quad . \quad S = \frac{1}{2} H (x + y) = Hx - \frac{1}{2} H^2 (n \pm \text{Tang. } \epsilon).$$

Es ist für sich selbst einleuchtend, daß unter den Futtermauern von verschiedener Form, aber gleicher Stabilität, diejenige die vortheilhafteste seyn wird, für welche der Werth von S der kleinste ist.

Die verschiedenen Formen aber, welche man den Futtermauern geben kann, lassen sich auf Sechs zurück führen, wie die Figuren 4 8 zeigen; für die beyden ersteren derselben ist ϵ bejahend, und man hat daher sowohl in der Gleichung (28), als auch in dem, in der Gleichung (12) gegebenen Werth von t , die oberen Zeichen zu nehmen; für die beyden folgenden ist ϵ verneinend, und es gelten hier die unteren Zeichen der nämlichen Gleichungen. Für die zwey letzten Formen endlich dienen die Gleichungen (29) und (30).

Es wäre zwar interessant, wenn man die Vergleichung der verschiedenen Formen in allgemeinen Ausdrücken anstellen könnte; da jedoch die Substituierung des allgemeinen Werthes für t in der Gleichung (28) diese so verwickelt, daß sie hierzu nicht mehr dienen kann; so müssen wir uns begnügen, diesen Vergleich auf einige in Zahlen ausgedrückte Beyspiele zu beschränken.

17) Für alle Beyspiele werden wir allgemein $H = 10^{\text{metre}}$, $h = 12^{\text{metre}}$, $\frac{p}{p'} = \frac{2}{3}$, $a = 45^\circ$, voraus setzen, für das erste aber insbesondere $\text{Tang. } \epsilon = \frac{1}{8}$, $n = \frac{1}{8}$; nach diesen Voraussetzungen wird:

Fig. 4. Für die 1^{ste} Form, ist

$$x = 4,^{\text{metre}} 800, y = 0,^{\text{m}} 800, S = 28,^{\text{m}} 80,$$

Fig. 5. Für die 2^{te} Form, hat man $n = 0$,

$$x = 4,639, y = 2,^{\text{m}} 639, S = 36,39,$$

Fig. 6. Für die 3^{te} Form,

$$x = 2,090, y = 2,090, S = 20,90,$$

Fig. 7. Für die 4^{te} Form, ist $n = 0$,

$$x = 1,850, y = 3,850, S = 28,50,$$

$$t = 0,50278.$$

$$t = 0,33518.$$

Fig. 8. Für die 5^{te} Form, ist $\varepsilon = 0$,

$$x = 3,632, y = 1,632, S = 26,32,$$

Fig. 9. Für die 6^{te} Form, ist $\varepsilon = 0, n = 0$,

$$x = 3,444, y = 3,444, S = 34,44,$$

$$t = 0,41421.$$

Da diese letzte Form von ε und n unabhängig ist, und daher in den folgenden Beyspielen die nämlichen Elemente beybehält, so wollen wir sie nicht mehr aufführen.

Für das zweyte Beyspiel setzen wir voraus:

$$\text{Tang. } \varepsilon = \frac{1}{6}, n = \frac{1}{6}.$$

Dem zu Folge wird:

Fig. 4. Für die 1^{ste} Form,

$$x = 4,^{\text{metre}} 519, y = 1,^m 258, S = 28,^m 75,$$

Fig. 5. Für die 2^{te} Form, wo $n = 0$,

$$x = 4,479, y = 2,813, S = 36,46,$$

Fig. 6. Für die 3^{te} Form,

$$x = 1,999, y = 1,999, S = 19,99,$$

Fig. 7. Für die 4^{te} Form, wo $n = 0$,

$$x = 1,824, y = 3,490, S = 26,57,$$

Fig. 8. Für die 5^{te} Form, wo $\varepsilon = 0$,

$$x = 3,572, y = 1,906, S = 27,39, t = 0,41421.$$

Für das dritte Beyspiel setzen wir voraus:

$$\text{Tang. } \varepsilon = \frac{1}{10}, n = \frac{1}{10}.$$

Dies gibt:

Fig. 4. Für die 1^{ste} Form,

$$x = 4,^{\text{metre}} 134, y = 2,^m 134, S = 31,^m 34,$$

Fig. 5. Für die 2^{te} Form, wo $n = 0$,

$$x = 4,090, y = 3,090, S = 35,90,$$

Fig. 6. Für die 3^{te} Form,

$$x = 2,439, y = 2,439, S = 24,39,$$

Fig. 7. Für die 4^{te} Form,

$$x = 2,387, y = 3,387, S = 28,87,$$

Fig. 8. Für die 5^{te} Form, wo $\varepsilon = 0$,

$$x = 3,492, y = 2,492, S = 29,92, t = 0,41431.$$

18) Vergleicht man die verschiedenen Formen nach den Ergebnissen der drey obigen Beyspiele, indem man von der sechsten Form dabey ausgehet, in welcher die beyden Seiten der Mauer vertical sind; so findet man diese Form mit der 2^{ten} — 4^{ten} und 5^{ten} verglichen, in welchen immer eine der Seiten vertical ist.

1^{ten}. Dafs die 2^{te} Form im Allgemeinen minder gut sey als die 6^{te}.

2^{ten}. Dafs die 4^{te} und 5^{te} Form besser sind als die 6^{te}.

3^{ten}. Dafs die 4^{te} Form vortheilhafter ist als die 5^{te}, wenn $\text{Tang. } \varepsilon =$ oder $< \frac{1}{6}$; dafs aber das Gegentheil Statt finde, wenn $\text{Tang. } \varepsilon =$ oder $>$ als $\frac{1}{6}$ ist; und dafs das *Maximum* des Vorthails für die 4^{te} Form Platz greifet, wenn $\text{Tang. } \varepsilon$ gleich ist $\frac{1}{6}$.

Die Formen 1 und 3, welche aus jenen 4 und 5 zusammen gesetzt sind, müssen auch der Vorzüge derselben theilhaftig werden; dieses findet wirklich Statt, denn die 3^{te} Form, welche aus den beyden vortheilhaften 4^{ten} und 5^{ten} zusammen gesetzt ist, zeigt sich als die vortheilhafteste, während die 1^{te} als eine Zusammensetzung von der 2^{ten} und 5^{ten} einen Theil dieses Vortheiles durch den Nachtheil der 2^{ten} verliert.

Es ist demnach von allen Formen, die man den Futtermauern geben kann, jene die beste, welche bey der grössten äusseren Böschung auf der ganzen Höhe eine innere Böschung hat, deren Anlage ungefähr $\frac{1}{6}$ der Höhe beträgt; denn nur diese wird entweder bey gleichen Volumen die grösste Stabilität, oder bey gleicher Stabilität das kleinste Volumen erfordern.

Wir haben jene Futtermauern nicht erwähnt, welche an der inneren Seite Absätze haben, weil man sich leicht überzeugen kann, dafs diese Form weniger gut als die 6^{ste}, und nur etwas wenigens besser als die 2^{te} sey.

19) In Allem, was bisher voran gegangen war, haben wir auf die Strebepfeiler keine Rücksicht genommen; wenn daher die Futtermauern nach unseren Formeln berechnet werden, so wird man durch die Anwendung von Strebepfeilern der Mauer einen Ueberschuß an Stabilität verschaffen, welcher dazu dienen wird, um sie geeigneter zu machen, dem Stosse der Wurfkörper zu widerstehen, und die Ausdehnung der Breschen zu vermindern. Wir schlagen daher vor, für die Ausmassen der Futtermauern an Festungswerken diejenigen zu wählen, welche unsere Formeln geben, die Strebepfeiler aber so anzulegen, wie *Vauban* vorgeschrieben hat.

In Bezug auf jene Form der Futtermauer, welche wir in Hinsicht auf den Druck der Erde und des Mauer-Volums als die vortheilhafteste bezeichnet haben, müssen wir noch hinzu fügen, daß eben diese Form auch die Bresche weniger gangbar werden läßt, weil sie das Herabfallen der Erde mehr hindert, und daß sich daher in ihr die nach der Theorie erwiesenen Vortheile mit den Forderungen in militärischer Beziehung vereinigen, vorfinden.

20) Wir werden diesen Abschnitt mit einer Bemerkung über die Formel (28) beschließen; dieselbe scheint nämlich zu zusammen gesetzt zu seyn, allein näher betrachtet, findet man, daß ihr folgende Gestalt gegeben werden kann:

$$x = H \left[\pm A + \sqrt{B + A^2 - C} \right].$$

Für die allgemeinsten Voraussetzungen bey der Berechnung einer Futtermauer gibt es daher nur drey Ausdrücke zu berechnen, und eine Quadrat-Wurzel auszuziehen; wobey noch überdies bemerkt werden muß, daß, wenn ε durch die *Tangente* (das heißt: durch das Verhältniß der Böschungsanlage zur Höhe) gegeben ist, man nicht ein Mahl die *trigonometrischen* Tafeln benöthiget, denn es ist $\text{Cos.}^2 \varepsilon = \frac{1}{1 + \text{Tang.}^2 \varepsilon}$.

Den Werth von t anlangend, kann derselbe durch Verzeichnung gefunden werden, wenn man nämlich den Winkel, welchen die natürliche Böschung mit der inneren Seite der Mauer bildet, halbirt.

Fig 2
 $\frac{AE}{2 \cdot GP} = t$

§. 3.

Theorie unter der Voraussetzung des Gleitens der Futtermauer.

21) In den beyden vorher gegangenen Abschnitten haben wir den Druck der Erde unter dem Gesichtspuncte betrachtet, als ob er die Mauer umzustürzen trachte, und zwar so, daß sich diese um die äußere Kante ihres Fußes drehe; nach dieser Annahme haben wir auch die Dicke der Futtermauern berechnet. Allein es bleibt noch zu erörtern, ob der Erddruck außer dieser Drehbewegung nicht auch die Mauer auf ihrer Grundfläche vorwärts verschieben könne, und ob, wenn dieses der Fall wäre, die nach der Annahme der Drehbewegung berechneten Mauerstärken hinreichend

seyen, um auch die letztere Bewegung zu hindern. Diese Erörterung wird uns in dem gegenwärtigen Abschnitte beschäftigen.

22) Wir werden alle früheren Benennungen beybehalten bis auf x , welches wir hier in x' verwandeln, um die nach der zweyten Annahme für die Mauerstärke gefundenen Werthe von jenen zu unterscheiden, welche wir durch die erstere erhalten haben. Ferner sey f' der *Coeficient* der Reibung der Mauer auf ihrer Grundfläche, und c' der *Coeficient* der *Cohaesion* des Mauerwerkes mit eben dieser Grundfläche.

Zerlegt man den Druck P in zwey Kräfte, wovon die eine auf die Grundfläche der Mauer senkrecht ist, so wird diese verticale Kraft $= \pm P. \sin. \varepsilon$, bloß, entweder eine Vermehrung oder Verminderung des Druckes auf die Grundfläche der Mauer bewirken, je nachdem nämlich ε entweder bejahend oder verneinend zu nehmen ist; die zweyte horizontale Kraft aber $= P. \cos. \varepsilon$ wird allein die Mauer auf ihrer Grundfläche zu verschieben trachten. Die Kräfte, welche dieser Wirkung zu widerstehen haben, sind die Reibung der Mauer auf ihrer Grundfläche und die *Cohaesion*. Nachdem aber die Reibung dem Drucke proportionirt ist, so wird sie ausgedrückt durch $f' (p' S \pm P. \sin. \varepsilon)$; und die *Cohaesion*, welche der Fläche proportionirt ist, wird $= c' x'$. Für den Stand des Gleichgewichtes muß daher:

$$(33). \quad . \quad . \quad . \quad P. \cos. \varepsilon = f' (p' S \pm P. \sin. \varepsilon) + c' x';$$

oder, wenn man für P und S die Werthe aus (13) und (32) setzt;

$$\frac{1}{2} p t^2 h (h - h'') \cos.^2 \varepsilon = f' [p' H x' - \frac{1}{2} p' H^2 (n \pm \text{Tang. } \varepsilon) \pm \frac{1}{2} p t^2 h (h - h'') \sin. \varepsilon \cos. \varepsilon] + c' x'.$$

Aus dieser Gleichung x' gesucht, gibt:

$$(34). \quad . \quad . \quad . \quad x' = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{p t^2 h (h - h'') \cos.^2 \varepsilon (1 \pm f' \text{Tang. } \varepsilon)}{p' f' H + c'} + \frac{p' f' H^2 (n \pm \text{Tang. } \varepsilon)}{p' f' H + c'} \right).$$

Dieses ist der allgemeine Ausdruck für die untere Dicke einer Futtermauer, wenn sie durch den Erddruck auf ihrer Grundfläche nicht soll verschoben werden können, in welchem sowohl die *Cohaesion* der Erde als auch jene des Mauerwerkes berücksichtigt worden sind. Weil aber in

der Ausführung auf beyde *Cohaesionen* keine Rücksicht genommen werden kann, indem die Erde ganz locker angeschüttet, die ihrige verloren, das Mauerwerk aber noch keine erlangt hat; so ist $h'' = 0$ und $c' = 0$. Hier- nach erhält obige Gleichung folgende Gestalt:

$$(35). \quad \dots \quad x' = H \left[\pm \frac{1}{2} \text{Tang. } \varepsilon \left(1 - \frac{pt^2}{p'} \cdot \frac{h^2}{H^2} \cdot \text{Cos.}^2 \varepsilon \right) + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \left(\frac{pt^2}{p' f'} \cdot \frac{h^2}{H^2} \cdot \text{Cos.}^2 \varepsilon + n \right) \right].$$

Wenn dieser Werth von x' gröfser ausfiele, als der entsprechende von x (22), so würde man den Werth von x' für die Mauerstärke wählen müssen, damit sie dem Drucke der Erde zu widerstehen vermögend sey. Wenn jedoch das Gegentheil Statt fände, dann dürfte eigentlich auf das Gleiten gar keine Rücksicht genommen werden. Der Vergleich beyder Formeln liefert folgende Resultate.

23) Wir bemerken zuörderst, daß in beyden Formeln der erste Theil des Ausdruckes der nämliche sey; so, daß man daher bloß die Wurzelgröfse der Formel (22) mit dem zweyten Theile des Ausdruckes der Formel (35) zu vergleichen hat. Es würde demnach, um auf das Gleiten der Mauer keine Rücksicht nehmen zu dürfen, hinreichend seyn, wenn bey allen in der Ausübung möglichen Fällen

$$(36) \quad \dots \quad \sqrt{\left[\frac{pt^2}{3p'} \cdot \frac{h^5}{H^3} + \frac{1}{4} \text{Tang.}^2 \varepsilon \left(1 - \frac{pt^2}{p'} \cdot \frac{h^2}{H^2} \cdot \text{Cos.}^2 \varepsilon \right)^2 - \right.} \\ \left. - \frac{1}{3} \left(\text{Tang.}^2 \varepsilon - n^2 \right) \right]} > \frac{1}{2} \left(\frac{pt^2}{p' f'} \cdot \frac{h^2}{H^2} \cdot \text{Cos.}^2 \varepsilon + n \right).$$

ausfiele.

Nehmen wir zuerst den Fall an, wo beyde Seiten der Mauer vertical sind; in diesem Falle ist $\varepsilon = 0$ und $n = 0$, wodurch obige Formel zu folgender sich gestaltet:

$$\sqrt{\left(\frac{pt^2}{3p'} \cdot \frac{h^5}{H^3} \right)} > \frac{1}{2} \cdot \frac{pt^2}{p' f'} \cdot \frac{h^2}{H^2};$$

woraus

$$f'^2 > \frac{3}{4} \cdot \frac{pt^2}{p'} \cdot \frac{h}{H}.$$

Nun ist aber nach Herrn *Boistard's* Versuchen, welche *Gauthey* in seiner Brückenbaukunde anführt, der kleinste Werth für $f' = 0,76$; anderer Seits nimmt man in der Ausübung gemeinhin $\frac{p}{p'} = \frac{2}{3}$, $t^2 < \frac{1}{2}$ und $\frac{h}{H} < \frac{3}{2}$ an; die obige Ungleichheit findet daher, so wie sie gefunden wurde, bey denen für die Ausübung tauglichen Annahmen wirklich Statt.

Für Mauern, deren beyde Seiten vertical sind, kann man daher das Gleiten außer Acht lassen.

Um für die übrigen Fälle den Vergleich zu erleichtern, werden wir $f' = 0,75$, nämlich unter seinem wahren Werthe annehmen, wodurch das zweyte Glied der Ungleichheit (36) größer ausfällt, und die Folgerungen, welche wir sonach machen, werden Schlussfolgen für das Stärkere seyn.

24) Es sey nunmehr eine Futtermauer mit einer äußeren Böschung versehen, und an der inneren Seite vertical; in diesem Falle ist $\varepsilon = 0$, n aber kann welch immer für einen Werth haben.

Nach dieser Voraussetzung müßte die Ungleichheit (36) folgende werden:

$$\sqrt{\left(\frac{p t^2}{3 p'} \cdot \frac{h^3}{H^3} + \frac{1}{3} n^2\right)} > \frac{1}{2} \left(\frac{p t^2}{p' f'} \cdot \frac{h^2}{H^2} + n\right);$$

und es ist hieraus:

$$\frac{2 h}{3 H} f' - \frac{1}{2} \cdot \frac{p t^2}{p' f'} \cdot \frac{h^2}{H^2} > n - \frac{1}{6} \cdot \frac{p' f'}{p t^2} \cdot \frac{H^2}{h^2} \cdot n^2.$$

Substituirt man für die Größen, welche in dem obigen Ausdrücke vorkommen, ihre kleinsten Werthe, $f' = \frac{3}{4}$, $\frac{p}{p'} = \frac{2}{3}$, $t^2 = \frac{1}{2}$, $\frac{h}{H} = \frac{3}{2}$, so hat man:

$$\frac{1}{4} > n - \frac{1}{6} n^2;$$

Dieser Forderung wird aber Genüge geleistet, wenn $n =$ oder $<$ als $\frac{1}{4}$ ist.

Hieraus folgt, daß für eine Futtermauer mit äußerer Böschung und an der inneren Seite vertical erbauet, das Gleiten nicht berücksichtigt zu werden braucht, in so lange die äußere Böschungsanlage nicht größer als $\frac{1}{4}$ der Höhe wird; so sanfte Böschungen sind aber in der Regel nicht üblich.

25) Für jene Futtermauern, deren innere Seite nicht vertical ist, wird der Ausdruck der Ungleichheit (36) wegen dem Werthe von t aus (12) so verwickelt, daß es einfacher ist, den Werth von x nach (22) und von x' nach (35) zu berechnen, um die Fälle, in welchen x' kleiner als x wird, und man daher das Gleiten außer Acht lassen kann, ausfindig zu machen.

Wir wollen sonach diese beyden Werthe unter der Voraussetzung berechnen, daß $\pm \text{Tang. } \varepsilon = 0,25$. sey, eine Voraussetzung, welche üblicher Massen nicht überschritten zu werden pflegt; ferner werden wir voraus setzen, daß $\frac{h}{H} = 1,5$. sey, welche Annahme die bey der Ausführung vorkommenden Massen überschreitet; endlich werden wir dreyerley verschiedene Erdgattungen voraus setzen, und für jede derselben die Berechnung machen, nämlich: indem wir a nach einander $= 30^\circ$, $a = 45^\circ$ und $a = 60^\circ$ annehmen, um auf diese Art das Mittel und beyde Gränzen in Rechnung zu bringen.

Die erste der drey Erdgattungen wird nach der gemachten Voraussetzung die feste Erde begreifen, für welche $\frac{p}{p'} = \frac{5}{6}$ voraus gesetzt wird, für die beyden anderen ist $\frac{p}{p'} = \frac{2}{3}$.

Diese Werthe sind zwar für die beyden außer dem Mittel befindlichen Erdgattungen etwas zu stark angenommen, wir müssen aber erinnern, daß wir die Absicht haben, die Gränzen zu berechnen, und zwar dergestalt, daß unsere Schlußfolgen *a fortiori* gültig seyen.

26) Hiernach findet man: wenn $a = 30^\circ$, ε bejahend und $n = 0,25$ ist.

$$x = H (0,479); \quad x' = H (0,396).$$

ε bejahend, $n = 0$.

$$x = H (0,452); \quad x' = H (0,271).$$

ε verneinend, und $n = 0,25$,

$$x = H (0,072); \quad x' = H (0,033).$$

ε verneinend, und $n = 0$;

$$x = H (0,008); \quad x' = \text{wird verneinend}$$

Für $a = 45^\circ$, wenn ε bejahend, $n = 0,25$ ist

$$\text{ist: } x = H (0,539); \quad x' = H (0,462);$$

ε bejahend, und $n = 0$.

$$x = H (0,516); \quad x' = H (0,337).$$

ε verneinend, und $n = 0,25$;	
$x = H(0,187)$;	$x' = H(0,112)$
ε verneinend, und $n = 0$.	
$x = H(0,150)$;	x' wird verneinend.
Für $\alpha = 60^\circ$, ε bejahend, und $n = 0,25$,	
ist: $x = H(0,630)$;	$x' = H(0,598)$.
ε bejahend, $n = 0$;	
$x = H(0,613)$,	$x' = H(0,473)$.
ε verneinend, und $n = 0,25$,	
$x = H(0,364)$,	$x' = H(0,284)$,
ε verneinend, und $n = 0$,	
$x = H(0,340)$;	$x' = H(0,159)$.

27) Aus dem Vergleiche dieser Werthe gehet hervor, das die von x' beständig kleiner ausfallen, als die entsprechenden von x ; und obwohl unter den angenommenen Formen der Mauer es einige gibt, welche nicht gebauet werden könnten, so ist es demungeachtet nicht minder richtig, daß nach der Voraussetzung des Gleitens alle Mauerdicken kleiner ausfallen, als nach der Voraussetzung des Umsturzes; es wird daher für die Ausführung stets genügen, die Mauerstärke nach der Voraussetzung, daß die Mauer umstürze, zu berechnen.

Diese Bemerkung war nothwendig, um jedem Zweifel über die Anwendbarkeit unserer in dem früheren Abschnitte entwickelten Formeln zu begegnen.

Demungeachtet könnte man vielleicht gegen diese Ergebnisse der Theorie einige Beyspiele von Futtermauern anführen wollen, welche, obwohl ihre innere Seite *vertical* war, doch einstürzten, indem sie vorwärts verschoben wurden. Es muß jedoch gegen diese Einwendung bemerkt werden, daß in diesen Fällen die Grundmauern zugleich mit den Futtermauern verschoben worden sind, und diese nicht auf der Oberfläche der Grundmauer gleiteten, sondern auf einem glitschichten Boden.

Unserer Theorie, welche die Grundmauer als fest und unwandelbar voraus setzt, können aber Fehler, welche bey dem Baue begangen worden sind, nicht zur Last gelegt werden.

§. 4.

Böschungsanlage für Erdaushebungen.

28) Um den Faden der Auflösung der Hauptfrage nicht zu unterbrechen, haben wir uns in N^{ro}. 6 bey den besonderen Eigenschaften der Gleichung (11) und den Folgerungen, welche aus derselben zu ziehen wären, nicht verweilen wollen; diese Gleichung kann aber dazu dienen, eine der wichtigsten Fragen für den Bau von Erdwerken, als: Verschanzungen, Dämme, Straßen etc. zu beantworten, nämlich: wenn die Beschaffenheit einer Erdgattung durch ihre natürliche Böschung, und die Höhe, auf welche sie sich *vertical* abstechen läßt, ohne einzustürzen, gegeben ist; die Höhe zu bestimmen, bis auf welche sich diese nämliche Erde unter was immer für einer Böschung, ohne einzufallen, abstechen lassen wird. Weil aber diese Frage selbst in allen möglichen Fällen den Böschungswinkel der Erde stets kleiner als einen rechten voraus setzt, so werden wir in dieser Gleichung bloß das untere Zeichen beybehalten, und durch h die Höhe der zu erhaltenden Erde ausdrücken. Die Gleichung wird hiernach folgende seyn:

$$(37). \quad . . . \quad h = h' \cdot \frac{\cos. \varepsilon. \sin.^2 \frac{1}{2} a}{\sin.^2 \frac{1}{2} (a - \varepsilon)}.$$

Aus dieser Gleichung findet man die Höhe h , auf welcher sich die Erde, deren Beschaffenheit durch den Neigungswinkel der natürlichen Böschung $= \frac{1}{2} \pi - a$, und die Höhe h' , bis zu welcher sie, ohne einzufallen, *vertical* abgestochen werden kann, gegeben ist, sich unter einem Neigungswinkel $= \frac{1}{2} \pi - \varepsilon$ von selbst erhalten wird. Es wäre z. B. die Böschungsanlage einer *Contreescarpe* und die Beschaffenheit der Erde gegeben; so wird man aus dieser Gleichung die größte Höhe finden, welche dieser *Contreescarpe* gegeben werden kann. Sollte aber die Höhe einer *Escarpe* gefunden werden, dann würde h nicht mehr die Höhe der *Escarpe* allein ausdrücken, sondern jene Höhe, welche auch die Ueberhöhung der Brustwehre in sich begreift, indem man nämlich das *Prisma* von irregulärer Form in ein gleich großes verwandelt, dessen Höhe $= h$ ist, und welches durch die gegebene Böschung begränzt wird.

29) Wenn aus der Gleichung (37) ϵ gesucht wird, so würde dadurch die umgekehrte und für die Ausführung brauchbarere Auflösung der Frage erhalten werden, nämlich: die Bestimmung der Böschungsanlage für eine gegebene Höhe der zu erhaltenden Erde. Diese umgekehrte Frage führt aber auf eine so verwickelte höhere Gleichung der 4^{ten} Ordnung, daß die vollständige für die Anwendung brauchbare Auflösung derselben nicht möglich ist; darum haben wir uns bewogen gefunden, nach der Formel (37) eine Tabelle zu berechnen, welche diesem Abschnitte am Schlusse angefügt ist, in welcher man sowohl die directe als umgekehrte Auflösung finden wird.

30) Die Einrichtung und der Gebrauch dieser Tabelle ist folgende:

Die Zahl, welche in der horizontalen *Colonne* steht, die den Kopf der *Tabelle* bildet, gibt die Anlage der natürlichen Böschung auf die Einheit der Höhe an, und jene Zahlen, welche in der ersten *verticalen Colonne* stehen, geben eben so die Anlagen der Böschungen bey der Höhe = 1, für die Aushebung an. Die Zahl, welche in einem durch diese beyden Böschungsanlagen bestimmten Felde geschrieben steht, gibt den entsprechenden Werth von $\frac{h}{h'}$, welcher daher mit dem Werthe von h' multiplicirt werden muß, um h , und somit auch die Auflösung der ersten Frage zu erhalten.

Bey der zweyten Frage ist h gegeben, die Böschungsanlage für die Aushebung aber ist unbekannt; es muß daher h durch h' dividirt, und sonach in der *Colonne*, welche die Zahl für die natürliche Böschungsanlage enthält, jene gesucht werden, welche mit der gegebenen Anlage der natürlichen Böschung am nächsten überein kommt, der zuerst erhaltene *Quotient* in der entsprechenden *verticalen Colonne* aufgesucht, wird dann in der ersten *verticalen Colonne* den Werth für die zu gebende Böschungsanlage der Aushebung bestimmen.

Beyspiel für die Auflösung der ersten Frage.

Wie tief kann eine Aushebung gemacht werden, wenn die Anlage der Erdböschung für die Höhe = 1; 0,40 beträgt, und die natürliche Böschung auf die Höhe = 1 zur Anlage 1, hat? Sucht man an dem Kopfe der Tabelle die Zahl 1,00 für die Anlage der natürlichen Böschung, und in der *verticalen*

ersten *Colonne* die Zahl 0,40 für die Anlage der Böschung, welche die Aushebung erhalten soll; so findet man in dem Durchschnitte der beyden *Colonnen* die Zahl: 3,36, mithin ist die gesuchte Höhe $= h' \times 3,36$.

Beyspiel für die Auflösung der zweyten Frage.

Welches ist die steilste Böschung, die man einer Aushebung von 4^{metre} Höhe geben kann, wenn $h' = 0,^{metre}90$, und die natürliche Böschung bey der Höhe $= 1$, zur Anlage 1,20 hat?

Dividirt man 4^{metre} durch 0,^{metre}90, so erhält man zum *Quotienten* die Zahl 4,44: sucht man nun in der horizontalen *Colonne* am Kopfe der Tabelle die Zahl 1,20, welche das Verhältniß der Anlage der natürlichen Böschung zu ihrer Höhe ausdrückt, und gehet in der entsprechenden *verticalen Colonne* abwärts, bis man auf eine Zahl trifft, welche der Zahl 4,44 am nächsten liegt, und dann von dem Felde, in welchem diese Zahl stehet, in der horizontalen *Colonne* bis zur ersten *verticalen Colonne* zurück, so findet man dort die Zahl 0,55, welche die Anlage der gesuchten Böschung auf die Höhe $= 1$ angibt.

Wenn man noch genauer zu Werke gehen wollte, könnte man die Böschungsanlage, welche der Zahl 4,44 genau entspricht, durch Interpolieren finden; allein die bloße Annäherung scheint hier um so mehr zu genügen, da es keine andere Folge haben kann, als daß die gefundenen Böschungen etwas wenigens sanfter werden.

31) Die Frage über die Böschungsanlagen der Erdaushebungen wäre somit gleichfalls gelöst; wir müssen jedoch einigen Einwendungen dagegen zu begegnen suchen. Da diese Frage unter der Voraussetzung: daß das Gleichgewicht bestehe, aufgelöst worden ist, so wäre es eine natürliche Folge, daß die gefundenen Werthe für die Ausführung zu klein ausfallen, und jeder Zufall die Erde einstürzen machen würde. Diese Einwendung würde ganz richtig seyn, wenn man für h' einen Werth annehmen wollte, welcher nur der Bedingung des bestehenden Gleichgewichtes entspräche; allein, wenn h' dergestalt bestimmt wird, daß zufällige Ursachen keinen Einfluß darauf äußern können, dann werden auch die auflösenden Angaben unserer *Tabelle* so beschaffen seyn, daß solche Ursachen keine üblen Folgen hervor zu bringen vermögen.

Um also h' auf diese Weise zu finden, müßte man eine gewisse Erdgattung auf verschiedene Höhen *vertical* abstechen, und diese Erdkörper mehrere Monate lang den Veränderungen der Witterung Preis geben; für h' aber dann die größte der Höhen annehmen, bis zu welcher sich die Erde unter diesen Umständen standhaft erhalten hat. Bringt man diesen Werth von h' in die Formel (37) oder in die *Tabelle*, so werden die erhaltenen *Resultate* gleichfalls allen auf die Zerstörung einwirkenden Zufälligkeiten widerstehen.

32) Zur Auflösung dieser für alle Erdarbeiten interessanten Aufgabe sind nur solche Daten erforderlich, welche unläugbar durch leicht auszuführende Versuche gefunden werden könnten; denn die Beschaffenheit der Erdgattung wird durch ihre natürliche Böschung und durch die Höhe bestimmt, bis zu welcher sie *vertical* abgestochen werden kann, ohne umzufallen. Es wären daher Versuche zu machen, um für verschiedene Erdgattungen diese Elemente zu bestimmen. Bey jeder Erdgattung müßte auch ihr Gewicht angegeben werden, denn bey der gleichen natürlichen Böschung ändert sich h' mit p ; auch müßte gefunden werden, wie diese beyden Größen auf einander einwirken, wie nämlich h' von a abhängt, wenn p beständig ist.

Wenn diese Daten durch eine Reihe von Versuchen gefunden worden sind, dann kann unsere *Tabelle* zur Auflösung aller in der Ausführung vorkommenden Fragen dienen.

Es würde endlich für die Erdarbeiten von Nutzen seyn, die Vermehrung des körperlichen Inhaltes verschiedener Erdgattungen, welche eintritt, wenn selbe aus dem festen in den lockeren Zustand übergehen, durch Versuche zu finden.

Dieser Gegenstand ist zwar insbesondere vorzüglich bey den Aushebungen und Anschüttungen von Wichtigkeit; jedoch in Verbindung gesetzt mit dem specifischen Gewichte der Erde, schließt er sich auch an die eben abgehandelte Frage an.

T a b e l l e

zur Berechnung der Höhen und der Böschungsanlagen für Erdaushebungen.

	0,50.	0,60.	0,70.	0,80.	0,90.	1,00.	1,10.	1,20.	1,30.	1,40.	1,50.	1,60.
0,20.	2,95.	2,40.	2,11.	1,92.	1,80.	1,71.	1,64.	1,59.	1,55.	1,52.	1,49.	1,47.
0,25.	4,30.	3,19.	2,65.	2,34.	2,14.	1,99.	1,89.	1,82.	1,75.	1,70.	1,66.	1,63.
0,30.	6,84.	4,43.	3,42.	2,89.	2,57.	2,35.	2,19.	2,08.	1,99.	1,91.	1,86.	1,81.
0,35.	12,37.	6,50.	4,57.	3,65.	3,13.	2,79.	2,56.	2,39.	2,27.	2,17.	2,08.	2,02.
0,40.	28,38.	10,37.	6,36.	4,72.	3,88.	3,36.	3,02.	2,78.	2,60.	2,46.	2,35.	2,26.
0,45.	115,59.	18,83.	9,37.	6,33.	4,91.	4,11.	3,60.	3,24.	3,00.	2,81.	2,66.	2,54.
0,50.	unendlich	43,30.	14,98.	8,83.	6,38.	5,11.	4,34.	3,84.	3,48.	3,22.	3,02.	2,87.
0,55.		176,92.	27,25.	13,03.	8,59.	6,47.	5,31.	4,58.	4,08.	3,72.	3,45.	3,24.
0,60.		unendlich	62,77.	20,86.	11,93.	8,41.	6,63.	5,53.	4,83.	4,33.	3,97.	3,69.
0,65.			257,34.	37,92.	18,05.	11,28.	8,40.	6,77.	5,76.	5,08.	4,58.	4,22.
0,70.			unendlich	87,57.	28,26.	15,77.	10,90.	8,42.	6,96.	6,00.	5,33.	4,84.
0,75.				356,96.	51,54.	23,26.	14,63.	10,69.	8,52.	7,16.	6,25.	5,60.
0,80.				unendlich	119,08.	37,41.	20,47.	13,92.	10,61.	8,65.	7,39.	6,51.
0,85.					488,06.	68,21.	30,26.	18,67.	13,46.	10,59.	8,82.	7,63.
0,90.					unendlich	157,39.	48,55.	26,65.	17,51.	13,18.	10,65.	9,01.
0,95.						645,69.	86,59.	38,61.	23,50.	16,73.	13,03.	10,79.
1,00.						unendlich	204,69.	61,95.	32,86.	21,77.	16,21.	12,98.
1,05.							840,78.	68,11.	48,60.	29,21.	20,57.	15,88.
1,10.							unendlich	260,64.	79,01.	40,81.	26,73.	19,74.
1,15.								1072,65.	142,23.	60,35.	35,87.	25,04.
1,20.								unendlich	328,14.	96,93.	50,09.	32,53.

Zweyter Abschnitt.

Versuche.

§. 1.

Frühere Versuche über den Druck der Erde.

Das Bedürfnis, die Ergebnisse der Theorie über den Druck der Erde mit jenen der Erfahrung zu vergleichen, gab die Veranlassung, daß schon vor längerer Zeit hierüber Versuche angestellt wurden. Einige dieser Unternehmungen sind bekannt geworden, wir entlehnen die kurze Beschreibung derselben, nebst einigen richtigen Bemerkungen darüber, aus dem schon erwähnten Werke des Herrn *Mayniel* *).

Versuche des Herrn *Gadroy*, ehemahligen Officier des Ingenieurs-Corps. Beschrieben in einer Denkschrift von 1746.

Herr *Gadroy* hatte beobachtet, daß, so oft irgend ein Theil einer Futtermauer oder einer mit Wasen oder Placage verkleideten Anschüttung gewichen war, man auf der Oberfläche der Anschüttung einen Riß bemerken konnte, welcher von der inneren Seite der Futtermauer beynahe um die halbe Höhe der Anschüttung entfernt war.

Oeffnete dieser Sprung sich dermaßen, um seine Richtung abwärts verfolgen zu können; so fand man, daß sich derselbe gegen den Fuß der inneren Seite der Mauer verlor; aus welchem Umstande er folgern zu

*) *Traite experimental et analytique de la poussée des terres. Livre 1^{er}. Paris. 1808. Par Mr. Mayniel, Chef de bataillons au Corps imperial du Génie, Sous-Directeur des Fortifications.*

müssen glaubte: daß die Erde mehr gegen die oberen, als gegen die unteren Theile der Mauer drücke.

Um sich hiervon noch mehr zu überzeugen, ließ er sich eine Schachtel verfertigen, welche im Lichte gemessen, 10 — 11 Zoll lang, 3 Zoll breit und eben so hoch war. Diese längliche Schachtel hatte keinen Deckel, von den zwey schmalen Seitenwänden aber war die eine beweglich, um ihre Stellung in der Schachtel nach Belieben verändern zu können; die zwey langen Seiten theilte er von Zoll zu Zoll ein. Hierauf stellte er die bewegliche Seitenwand auf den Theilungsstrich 3 Zoll, wodurch der Raum eines vollkommenen Kubus abgeschlossen wurde, welchen er mit feinem sehr trockenen Sand ausfüllte. Als die bewegliche Wand los gelassen wurde, ward sie rasch umgestürzt, indem sie sich um ihre Grundfläche gerade so drehte, als ob sie an Angeln befestiget gewesen wäre, der Sand fiel nur so ab; daß die Entfernung der Bruchlinie $\frac{2}{3}$ der Höhe betrug. Er wiederholte diesen Versuch öfters, und erhielt immer das nämliche Resultat, er mochte den Standpunct der beweglichen Seitenwand wie immer verändern. Die natürliche Böschung dieses Sandes hatte auf 3 Zoll Höhe, 5 Zoll zur Anlage.

Bemerkungen über die Versuche des Herrn *Gadroy*.

Herrn *Gadroy's* Versuche waren so kleinlich, daß sie selbst dann nur Andeutungen hätten liefern können, wenn sie alle auf den Druck der Erde Einfluß nehmenden Umstände umfaßt hätten. Indessen lehren diese Versuche doch: daß die Bruchlinie auf der Oberfläche der Anschüttung sich nur in der Entfernung von $\frac{2}{3}$ der Höhe bildete, während der natürliche Böschungswinkel der Dammerde 45° beträgt.

Die Versuche wurden aber mit Sand angestellt, welcher eine viel sanftere natürliche Böschung annimmt, als die Dammerde; es folgt daraus, daß das Prisma des größten Druckes kleiner sey, als jenes, welches als zwischen der natürlichen Abdachung der Erde und der verticalen begriffen gedacht werden kann. Aus dem Umstande, daß die bewegliche Seitenwand umstürzte, anstatt vorwärts zu gleiten, will er folgern, daß die Erde an dem oberen Theile des Hindernisses den stärksten Druck ausübe.

Diese Schlussfolge wird durch die Versuche des Herrn *Gauthey*, so wie durch jene, welche zu *Juliers* veranstaltet wurden, widerlegt; denn es

gehet aus diesen hervor, daß die horizontale Kraft des Druckes durch einen Punct der widerstehenden Fläche gehe, welcher durch die mit der schiefen Bruchfläche aus dem Schwerpuncte des abfallenden Prisma's geführte Gleichlaufende bestimmt wird.

Endlich folgert er noch, daß, weil bey dem Sande das Prisma vom größten Drucke nur $\frac{2}{3}$ der Höhe zur Grundlinie gehabt habe, während die Anlage der natürlichen Böschung $\frac{5}{6}$ der Höhe betrug, das Prisma des größten Druckes bey der Dammerde, deren natürliche Böschungsanlage der Höhe gleich ist, dem Verhältnisse nach zur Grundlinie $\frac{1}{3} + \frac{1}{15}$ der Höhe haben werde; was sich aber bey den Versuchen zu *Juliers* nicht bestätigte.

Versuche des Herrn *Papacini d'Antony*.

Zu den Versuchen, welche *Papacini d'Antony* über den Druck der Erde unternahm, ließ er einen Kasten verfertigen, dessen vordere Wand eine in Charnieren bewegliche Tafel war; über dieselbe ragte zu beyden Seiten ein hölzerner Riegel empor, an deren obersten Enden Schnüre befestiget waren, welche über Rollen liefen, und jede eine Platte trugen, auf welche Gewichte gelegt werden konnten.

Man hat dermahlen nur einen Auszug über die Beschreibung des Apparates und der Art, wie die Italienischen *Ingenieure* sich desselben bedienten, um den Druck der Erde zu messen, zur Hand, in welchem man als einziges Resultat der Bemühungen dieses Schriftstellers die Angabe findet; daß die Erde, welche die Wirkung hervor brachte, unter einem Winkel von 45° abfiel, und in diesem Apparate nur mit einer Kraft drückte, welche den vierten Theil von dem Gewichte des abgefallenen Prisma's betrug; so, daß also drey Viertheile durch die Reibung zerstört wurden.

Bemerkungen über die Versuche des Herrn *Papacini d'Antony*.

Die Theorie der Italienischen *Ingenieure* kann nicht Genüge leisten, denn sie ist auf allzuvieler Hypothesen gestützt, und bezieht sich allein auf jene Erden, welche sich in einer Böschung von 45° lagern. Betrachtet man die Einrichtung des Apparates, so kann man nicht einsehen, wie dieser Schriftsteller zu dem Schlusse kommen konnte, daß das auf seiner Hypo-

thenuse, unter einem Winkel von 45° gleitende dreyseitige Prisma durch die Reibung $\frac{1}{4}$ seines Gewichtes verloren haben könne. Man begreift wohl, daß er die abgefallene Erde wiegen, und dieses Gewicht mit jenem vergleichen konnte, welches ihm das Gleichgewicht gehalten hatte; allein der Widerstand war nicht da angebracht, wo die Zusammengesetzte des Druckes durchgehet, da er sich oben an der beweglichen Tafel befand. Er konnte daher nur durch eine Hypothese den Punct annehmen, wo die Zusammengesetzte des Druckes durchgehe, um hiernach den Hebelsarm in Rechnung zu bringen; dann war aber sein Versuch nicht rein, sondern abhängig von willkührlichen Annahmen.

Versuche des Herrn *Gauthey*, 1784 und 1785.

In N^{ro}. 24 seiner Denkschrift sagt Herr *Gauthey*, daß er sich einen kleinen Kasten von 30 Zoll Länge und eben so viel Höhe auf 1 Fuß Breite habe verfertigen lassen, welcher oben und vorne offen war: gegen vorne verschloß er diesen Kasten mittelst eines vertical gestellten Bretes von 30 Zoll Höhe und 1 Fuß Breite, welches unten in Charnieren beweglich war; an dieses Bret befestigte er bey $\frac{1}{3}$ der Höhe (von unten an gerechnet) zu beyden Seiten Schnüre, die, nachdem sie über eine Rolle geführt waren, Wagschalen trugen; er füllte sodann den Kasten mit Sand an, und beobachtete: daß es 35 Pfund (*livres*) benöthigte, um den Umsturz des Bretes zu verhindern, obschon die Sandmasse, welche abfiel, nachdem das Bret umgestürzt worden war, 320 *livres* wog.

Die Böschungsanlage des (abgefallenen) Sandes war kleiner als jene für 45° .

Nachdem Herr *Gauthey* bemerkt hatte, daß der Sand öfter steil abfiel (*ne prenait que peu de talus*); daß er durch die Zwischenräume zwischen dem verticalen Brete und den Kastenwänden entweder ausrieselte, oder dort sich anhäufend dieses Bret an dem Umsturze verhinderte, entschloß er sich, seinen Apparat zu ändern; er ließ demnach einen Kasten von $7\frac{1}{2}$ Zoll Länge und gleicher Höhe, und nur 3 Zoll Breite verfertigen; anstatt des verticalen Bretes bediente er sich zum Verschließen desselben hohler Parallelepipeden, welche aus Bretchen verfertiget waren. Anstatt mit Sand, füllte er den Kasten mit Jagdschroten, von der Größe der

Taubenschrotte (*fonte a giboyer*), und um den Widerstand mit dem Drucke derselben in das Gleichgewicht zu setzen, füllte er die hohlen Parallelepipedes mit Bleystückchen und Schrot aus, so zwar, daß das specifische Gewicht der Parallelepipedes zu jenem der Schrote des Kastens in dem nämlichen Verhältnisse stand, wie das Gewicht der Mauer zu jenem der Erde.

Um die Wirkungen verschiedener Prismen beobachten zu können, theilte er das Innere des Kastens durch eine schiefe Fläche, deren Neigung er nach Belieben verändern konnte. Er untersuchte auf folgende Art, ob alle Theile der Mauer von oben herab verhältnismässig mit jener Kraft gedrückt würden, welche die gegen diese Theile sich stützenden Trapeze der Erdanschüttung ausüben. Die Höhe des Kastens wurde in fünf gleiche Theile getheilt, und jeder derselben durch eine verticale Wand geschlossen, welche so eingerichtet war, daß sie vorwärts gleiten konnte, ohne mit der ober und unter ihr befindlichen in Berührung zu kommen. Jedes dieser Gegengewichte wurde beyder Seits durch über Rollen laufende Schnüre gehalten. (Es ist übrigens, obwohl Herr *Gauthey* nichts erwähnt zu vermuthen, daß bey jeder dieser kleinen Thüren der Widerstand in gleicher Höhe angebracht gewesen seyn werde).

Wenn diese fünf kleinen verticalen Wände gleichweit horizontal verschoben werden sollten, mußte die erste (oberste) mit $1\frac{1}{2}$ Unze; die zweyte mit 4 Unzen, die dritte mit 6 Unzen, die vierte mit 8 Unzen und die fünfte mit 10 Unzen zurück gehalten werden. Ob die Zusammengesetzte aller dieser kleinen Trapezen bey $\frac{1}{3}$ der Höhe durchgehe, suchte Herr *Gauthey* auf die folgende Weise zu erforschen: er verschloß nämlich den vorderen Theil des Kastens statt mit fünf, dißmahl nur mit einer verticalen Wand, welche er zu beyden Seiten in Angeln laufen ließ; wenn diese Angeln bey $\frac{1}{3}$ der Höhe befestiget wurden, blieb die Lage der Wand unverändert; wurden dieselben aber höher oder tiefer gestellt, dann öffnete sich die Wand sogleich nach unten oder nach oben.

Wurde der Kasten mit einer einzigen verticalen Wand geschlossen, an welche, wie früher, zu beyden Seiten bey $\frac{1}{3}$ der Höhe Schnüre befestiget waren, welche jede über eine Rolle laufend eine Wagschale trugen, und der ganze Kasten sodann mit Schroten gefüllt; deren natürliche Böschungs-

anlage das Doppelte der Höhe betrug; so mußten, um das Gleichgewicht zwischen Druck und Widerstand herzustellen, 3 Pfund (*livres*) an Gewichten verwendet werden. Wurde sonach eine schiefe Fläche in den Kasten eingesetzt, und dieser eine Neigung von 45° gegeben, sodann bloß der Raum zwischen der beweglichen Kastenwand und der schiefen Fläche mit Schrotten gefüllt; so benötigte man gleichfalls nur 3 Pfund, um das Gleichgewicht zu erhalten. Die Neigung der schiefen Fläche wurde verändert, indem man ihr einmahl $22\frac{1}{2}^{\circ}$, dann $67\frac{1}{2}^{\circ}$ gab, und auch dann waren jedes Mahl 3 Pfund auf den Wagschalen hinreichend, um die bewegliche Wand mit dem Drucke der Schrotte im Gleichgewichte zu erhalten, obschon bey der Neigung von 45° , die Füllung mit Schrotten 13 Pfund, bey der Neigung von $22\frac{1}{2}^{\circ}$ nur $6\frac{1}{2}$ Pfund, und bey der Neigung von $67\frac{1}{2}^{\circ}$, 26 Pfund gewogen hatte.

Bemerkungen über die Versuche des Herrn *Gauthey*.

Herr *Gauthey* hat seine Versuche mit dem Sande aufgegeben, weil derselbe eine der Natur gemäße Erscheinung zeigte, welche gerade die sorgfältigste Prüfung verdient hätte. Er beobachtete, daß der nach dem Weichen des Hindernisses abfallende Sand eine steilere, als die natürliche Böschung annahm; der abgefallene Sand war aber nichts anderes, als dasjenige Prisma, welches den größten Druck gegen den Widerstand ausübt, und eben dasselbe ist es, welches man bey den Untersuchungen über den Druck der Erde kennen zu lernen suchen muß.

Seinen schon anfänglich eben nicht großen Apparat vertauschte er mit einem allzukleinen, bey welchem die Resultate zweifelhaft werden mußten, wie bey Modellen, welche die Wirkungen ganz anders angeben, als sie bey der Ausführung im Großen gefunden zu werden pflegen.

Und da er überdiß die Versuche mit einer Materie anstellte, welche mit der Erde gar keine Aehnlichkeit hatte; so können die gefundenen Ergebnisse mit den Erscheinungen des Erddruckes durchaus nicht verglichen werden.

So fand er z. B. immer die nämliche Wirkung, es mochte ein größeres oder kleineres Prisma von Schrotten gegen die verticale bewegliche Wand drücken; dieser Umstand allein ist hinreichend, um Verdacht gegen

die Versuche zu erregen. Man kann zwar den Punct, wo die Zusammengesetzte durchgehet, auf keine sinnreichere Art practisch finden, als Herr *Gauthey*, allein man muß dennoch bedauern, daß der Apparat zu klein war, und zu dem Versuche nicht Erde verwendet worden ist.

Bey dem Versuche über den Druck in verschiedenen Höhen der widerstehenden Fläche stehen die gefundenen Gewichte nicht in dem gehörigen Verhältnisse mit dem Inhalte der drückenden Prismen, und obwohl die Unterschiede bey dem kleinen Apparate eben nicht bedeutend sind; so ist doch zu besorgen, daß sie im Großen unverhältnißmäßig wachsen könnten.

Versuche des Herrn *Rondelet*.

Herr *Rondelet* in seiner *l'art de bâtir* Tom. III N^{ro}. 95 Art. VI beschreibt den Apparat und seine Versuche über den Druck der Erde. Der Apparat bestand aus einem Kasten $16\frac{1}{2}$ Zoll lang, 12 Zoll breit und 17 Zoll hoch im Lichte gemessen. Eine Seite dieses Kastens war zum Wegnehmen eingerichtet, um, indem dieß nach Belieben geschah, den Winkel zu messen, welchen die Böschung der zurück gebliebenen Erde mit dem Horizont bildete. Die Versuche zeigten, daß der feine sehr trockene Sand, oder ein pulverisirter Schotter die beweglichste Erdgattung sey, und daß der eine wie der andere nach hinweg genommener Seitenwand des Kastens dergestalt abfiel, daß die Böschungsfläche des zurück gebliebenen Theiles mit der Verticalen einen Winkel von $55^{\circ} - 30'$, mit der Horizontalen aber einen Winkel von $34^{\circ} - 30'$ bildete.

Die bewegliche Seitenwand ersetzte Herr *Rondelet* später durch Steinplatten, deren Dicke er so wählte, daß sie durch ihr Gewicht dem Erddrucke das Gleichgewicht hielten; wodurch somit die Dicke der Mauer durch Versuche bestimmt wurde.

Diesen Versuchen fügte der Verfasser auch eine Theorie über den Druck der Erde bey.

Nach ihm wirkt das abfallende Erd-Prisma gleichlaufend mit der schiefen Ebene, welche durch den Absturz gebildet wird; um das Moment zu bestimmen, zieht er aus dem Schwerpunkte des abfallenden Prisma's mit der schiefen Seite desselben eine Gleichlaufende, und errichtet aus dem

Umdrehungspunct des Widerstandes eine Senkrechte auf diese Linie, welche Senkrechte er als den Hebelsarm des Druckes ansieht.

Die Versuche mit Sand oder pulverisirten Schotter stimmten mit dieser Theorie überein, allein er erhielt andere Resultate, als er Versuche mit gewöhnlicher Erde anstellte.

Bemerkungen über die Versuche des Herrn *Rondelet*.

Mittelst der Seitenwand oder der an ihre Stelle gesetzten Steinplatte war man nicht im Stande, das Prisma des größten Druckes zu finden, denn es ist nicht möglich, diese Gegenstände wegzunehmen, ohne die Erdmasse zu erschüttern, von welcher dann ein größeres Prisma abfallen muß, als durch den Druck allein sich abgelöset haben würde, besonders wenn sie so beweglich ist, wie der feine trockene Sand oder der pulverisirte Schotter. Eben so wenig konnte auf diese Weise die natürliche Böschung erhoben werden; denn durch das Anschütten der Erde hinter einem Hindernisse, welches das freye Abfallen nicht zuläßt, entstehet eine Pressung der Erdtheile, welche verursacht, daß bey dem langsamen Weichen dieses Hindernisses gerade nur das Prisma des größten Druckes sich von der Anschüttung trennet; und erst, wenn man die Erde dann längere Zeit sich selbst überläßt, fällt sie nach und nach bis zu ihrer natürlichen Böschung ab.

Endlich war auch dieser Apparat zu klein, als daß man auf sichere und für die Anwendung im Großen verlässige Resultate hätte zählen können.

Versuche des Herrn *Mayniel*, ausgeführt zu Alexandria 1805, und zu Juliers im Jahre 1806 und 1807.

Herr *Mayniel* sagt über seine Versuche Folgendes:

Da nach den Annahmen der Italienischen Schriftsteller, insbesondere des Herrn *Papacini d'Antony* voraus gesetzt wird, das Prisma des größten Druckes gleite auf einer Hypothenuse, welche unter 45° gegen den Horizont geneigt ist; so war es meine Absicht, mich vor allen anderen zu überzeugen: ob dieß wirklich das Gesetz sey, nach welchen der größere Theil der Erdgattungen zu wirken pflege.

Ich ließ daher einen Kasten verfertigen, der zwey *metres* breit, ein und einen halben *metre* lang und ein *metre* hoch war, stellte diesen auf ein

wagrechtes Gerüste dergestalt, daß die Erde in den Hofraum abfallen konnte, und beschloß nunmehr, mich von dem Vorgange der Italiener zu überzeugen. Es ergab sich, daß die Hypothenuse, auf welcher das Erd-Prisma gleitete, eine Neigung von $62^{\circ} - 42'$ gegen den Horizont hatte; dabey trennte sich die Erde mit einem starken Knalle, indem zugleich die bewegliche Wand (*tablier*) und deren Charniere in Trümmer gingen.

Umstände verhinderten mich, diese Untersuchungen damahls weiter fort zu führen, welche ich jedoch später zu *Juliers* fortsetzte.

Beschreibung des Apparates.

Plan 1, Fig. 10,
11, 12, 13.

Es wurde ein Kasten gefertigt, dessen Seitenwände und Boden aus gefalzten Bretern bestanden, welche mit verzackten Ecken verbunden waren, er war im inneren Lichte gemessen, 3 *metre* lang, $1\frac{1}{2}$ *metre* breit und $1\frac{1}{2}$ *metre* hoch. Zur Versicherung der beyden langen Seitenwände waren fünf Säulen mit überlegten Schwellern angebracht, welche nahe 0,^m 60 von einander entfernt waren, die hintere Wand wurde durch eine, in Gestalt eines Andreas-Kreuzes zusammen gefügte Holzverbindung verstärkt, welche man noch überdieß mit schiefen Streben *N* stützte.

Fig. 12.

Der vordere Theil oder das Thor *EFGH* war unten durch drey Charnieren *R* an den Kasten befestiget, die Bänder derselben waren in die Holzdicke eingelassen, und der Mittelpunkt des Zapfens so gestellt, daß die Oberfläche des niedergelegten Thores mit der Oberfläche des Kastenbodens genau in einer Ebene lag. An der Außenseite war das Thor gleichfalls durch Holzverbindungen in Gestalt des Andreas-Kreuzes verstärkt, und noch außer dem mit vier Eisenklammern verbunden, wovon zwey zu beyden Seiten oben, zwey andere aber zu beyden Seiten in der halben Höhe angebracht waren.

Der Kasten wurde in ein großes von oben gedecktes und an den Seiten mit Breterwänden geschlossenes Magazin gestellt. Um nicht in den nämlichen Fehler zu verfallen, welcher den Italienischen Versuchen zur Last fällt, durch welche die Wirkung des Erddruckes unrichtig erhoben wurde, ordnete ich folgende Veränderungen an dem Apparate an. An der Außen-

seite des Thores in der Mitte desselben liefs ich zwey aufrecht stehende Säulen befestigen, deren gegenüber stehende Seitenflächen schwalbenschweifartig ausgeschnitten waren *X*, und auf diese Art die Leitung für Fig. 13. einen aus Eisen verfertigten Keil *I* bildeten, welcher sich zwischen denselben auf und ab bewegen liefs. An diesen Keil war eine 0,^m80 lange Eisenstange mittelst eines eisernen Bolzens verbunden, welche an ihrem anderen Ende eben so an eine viereckige Eisenplatte *M* befestiget war. Die Eisenplatte war bestimmt, an den Kasten *L* fest gemacht zu werden. Die Vorrichtung diente dazu, um die Stange durch die zwey Bolzen in den Stand zu setzen, der Kreisbewegung des Thores nachzugeben, die Platte verbreitete den Druck auf eine grössere Fläche, und hinderte das Eindringen der Stange in die Wand des kleinen Kastens.

Ferner wurde ein grösser Kasten von starkem weissen Eisenbleche verfertigt, nahe am Boden mit einer Röhre, die mittelst eines Hahnes geschlossen werden konnte, versehen. Dieser Kasten *L* hatte zur Grundfläche ein *Quadrat* von 0,^m95, und war 0,^m585 hoch. Seine Bestimmung war die Eisenstange sammt der Platte *M* aufzunehmen, welche letztere mittelst einer Schraube daran befestiget wurde. So wie man den Widerstand, welcher dem Erddrucke das Gleichgewicht halten sollte, höher oder tiefer anbringen wollte, konnte diefs durch die Schraube geschehen.

Ein grösser Caserne-Tisch, dessen Füfse 0,^m60 in den Boden versenkt wurden, stand vor dem Erdkasten, um die beschriebene blecherne Büchse zu tragen; da man aber besorgte, daß die Füfse des Tisches durch die auf der Tafel desselben hervor gebrachte Reibung leiden könnten, stützte man denselben durch eine Wagenwinde. Bey Veränderung der Höhe des Widerstandes mußten die Füfse eingesenkt, oder die Tischplatte erniedriget werden.

Die Bestimmung aller dieser Vorrichtungen war folgende: der eiserne Keil, welcher sich in der schwalbenschweifartigen Leitung frey bewegen konnte, diente dazu, um den Widerstand in einem beliebigen Punct der Höhe anzubringen. War dieser Punct bestimmt, dann wurde die Eisenstange mittelst einer Luftblase wagrecht gerichtet, und die Eisenplatte *M* an die blecherne Büchse befestiget, diese Büchse wurde mit Wasser gefüllt, dann bedeckt und noch mit Gewichten beschwert, um den Widerstand

dergestalt zu vergrößern, daß er durch den Druck der Erde nicht überwältiget werden konnte. Hierauf wurde der Erdkasten mit lockerer Erde gefüllt. Sobald die Anfüllung entweder bis auf die Höhe des Kastens vollendet war, oder man noch auf dieselbe eine Ueberhöhung nach Art einer Brustwehre aufgeschüttet hatte, welche nach vorne unter einem Winkel von 45° endigte, wurde der Hahn an der Büchse geöffnet, und das ausfließende Wasser aufgefangen. Während des Ausflusses des Wassers mußte ein Zeitpunkt eintreten, wo der Widerstand dem Drucke nicht mehr gewachsen war; die Büchse gleitete dann auf dem Tische ruckweise zurück, und in demselben Augenblicke wurde auch der Hahn geschlossen.

Um die Wirkung zu erheben, welche die abgefallene Erde geäußert hatte, wurde dieselbe aus dem Kasten geräumt, dann gemessen und einige Kubik-Fuß derselben gewogen, um das mittlere Gewicht zu erhalten. Sodann ward das Thor wieder geschlossen, die Eisenstange sammt Büchse in ihre vorige Lage gebracht, und die Büchse sammt Stange und Eisenplatte mit einem Stricke umwunden, der wagrecht über eine Rolle lief, und eine Wagschale trug, die man so lange mit Gewichten beschwerte, bis die Büchse gerade so verschoben wurde, als es früher durch den Erddruck geschehen war.

Die Gewichte auf der Wagschale, mit Einschluss des Gewichtes dieser letzteren, gaben offenbar das Maß des Erddruckes an; denn sie hatten die nämliche Wirkung hervor gebracht, nämlich: sie hatten die Trägheit des Thores und die nämliche Reibung überwunden, weil die Büchse mit den nämlichen Gewichten beschwert, und mit der gleichen Wassermenge gefüllt geblieben war, wie in dem Augenblicke, als die Erde ihren Druck äußerte.

Wir haben hier Herrn *Mayniel's* Beschreibung des Apparates mit seinen eigenen Worten geliefert, er läßt nun die Beschreibung seiner Versuche folgen; da es aber zu umständlich und weitläufig wäre, sie ganz anzuführen; so werden wir bloß im Allgemeinen dasjenige angeben, was Herr *Mayniel*, und wie er es erhob.

Herr *Mayniel* hat im Ganzen drey und dreyßig Versuche gemacht, der erste derselben, mit gelbem feuchten Sand unternommen, ist gar nicht zu rechnen, denn er hat eigentlich kein Resultat geliefert.

Mit lockerer gut gereinigter und trockener Dammerde (*terre vegetale*), so trocken nämlich, daß sich dieselbe nicht zusammen ballen ließ, wurden in dem Apparate, die Anschüttung bloß so hoch als das Thor des Kastens, *Sechs* Versuche (2^{te} , 4^{te} , 5^{te} , 6^{te} , 9^{te} , 11^{te}) gemacht; später folgten noch zwey Versuche mit der nämlichen Erde und gleich hoher Anschüttung, (der 19^{te} und 25^{te}), bey welchen die Charnieren des Thores abgenommen waren.

Mit der nämlichen lockeren Dammerde, die Anschüttung höher als das Thor des Kastens, waren fünf Versuche, (der 3^{te} , 7^{te} , 8^{te} , 10^{te} , 12^{te}); dann ein Versuch, (der 20^{te}), wo die Charnieren am Thore abgenommen waren, gemacht worden.

Die nämliche Dammerde wurde sodann lagenweise sorgfältig fest gestossen, und *drey* Versuche mit einer gleich hohen Anschüttung, (der 13^{te} , 16^{te} , 18^{te}); sodann *drey* Versuche, (der 14^{te} , 15^{te} , 17^{te}) mit überhöhender Anschüttung angestellt.

Herr *Mayniel* ging nun auf Versuche mit Ziegelmauern über; in dem 21^{ten} Versuche ließ er eine Ziegelmauer anstatt des Kastenthores aufmauern, welche mit Traß-Mörtel gemauert, und $0,^m 4$ dick war. Die Mauer war am 12^{ten} November hergestellt, und man ließ dem Mörtel bis zum 14^{ten} Zeit, um auszutrocknen. An diesem Tage wurde der Kasten mit lockerer Erde gefüllt; als die Anschüttung die Höhe des Kastens erreicht hatte, neigte sich die Mauer um $0,^m 04$ vorwärts. Hierauf wurde noch etwas Erde aufgeschüttet, um den Anfang einer Ueberhöhung zu bilden, welche nach allen Seiten eine Böschung von 45° hatte, die Mauer neigte sich dabey um $0,^m 01$ mehr. So blieb dieselbe bis am 15^{ten} November Vormittags stehen, sie hatte in dieser Zeit sich nicht verändert, und man führte nun die Ueberhöhung auf $0,^m 60$ Höhe aus; als dieß geschehen war, neigte sich die Mauer noch mehr um $0,^m 02$, und bekam am Fusse ober der dritten Ziegellage einen Riß.

So blieb sie bis am 16^{ten} Vormittags stehen; an welchem Tage man den Kasten ausleeren und neu anfüllen ließ. Die Mauer wich nun nach und nach dergestalt, daß sie am 17^{ten} Morgens um $0,^m 13$ vorwärts geneigt war.

Der Kasten wurde ein zweytes Mahl ausgeleert und frisch gefüllt; als die Erde weggeschafft war, setzte sich die Mauer wieder fast in die alte

Lage, so, daß die Neigung nur mehr $0,^m 08$ betrug; als aber die Anschüttung sammt der Ueberhöhung vollkommen hergestellt war, erfolgte eine fortgesetzte Bewegung der Mauer, welche mit ihrem Einsturze 2 Stunden und 15 Minuten darnach endigte.

Die Mauer war an ihrem Fulse in der Höhe des Kastenbodens gebrochen, und hatte sich wie das Thor umgestürzt, indem sie sich um die vordere Kante ihres Fusses drehte, denn der Bruch war von dem Fulse an aufwärts geschehen, und zwar nach der Richtung der Diagonale eines *Quadrates*, welches die Dicke der Mauer zur Seite hat.

Die Höhe der Mauer (drey Ziegellagen unter dem Boden des Kastens nicht mitbegriffen) betrug $1,^m 50$, die Länge $1,^m 70$, und die Dicke $0,^m 40$.

Es waren zur Herstellung derselben 460 Stück Mauerziegeln, nämlich: 20 Stück in jeder Lage verwendet worden; die umgestürzte Mauer sammt dem sorgfältig aufgesammelten Mörtel hatte ein Gewicht von 18020 *hectogrammes*. Der Theil der Mauer, welcher stehen geblieben war, und welchen die Erde nicht gestört hatte, bestand aus 24 Stück Ziegeln, welche sammt dem daran hängenden Mörtel gewogen, ein Gewicht von 99 *Kilogrammen* gaben.

Die Bruchlinie der abgefallenen Erde bildete sich auf der Oberfläche des Kastens an jeder Seite auf $0,^m 63$ von dem oberen und vorderen Rande desselben, in der Mitte aber auf $0,^m 80$; zwischen der Mitte und jeder Seite betrug diese Entfernung gleichfalls $0,^m 80$. In dem Augenblicke, als die Mauer umstürzte, trennte sich die Erde dergestalt, daß die Entfernung der Bruchlinie zu beyden Seiten $0,^m 76$ und $0,^m 93$ in der Mitte; zwischen der Mitte und jeder Seite aber gleichfalls $0,^m 93$ betrug.

Auf der Höhe der Ueberhöhung betrug die Entfernung der Bruchlinie von dem einen Rande der vorderen Böschung $0,^m 36$, von dem anderen $0,^m 42$, und in der Mitte gleichfalls $0,^m 42$.

Die abgefallene Erde bestand aus 44 Maßen (Kubik-Fufs), jeder zu 38 *kilogr.*; daher das ganze Gewicht zu 16720 *hectogrammen*.

In dem 22^{ten} Versuche wurde eine trockene Ziegelmauer so hoch und lang wie die vorige, jedoch $0,^m 5$ dick, hergestellt, und die Anschüttung, aus trockener und lockerer Dammerde bestehend, mit der Mauer gleich hoch gemacht. Die Mauer neigte sich dann um $0,^m 03$.

Hierauf liefs er eine Ueberhöhung aufwerfen, welche die Neigung der Mauer um $0,^m 02$ vergrößerte, so, daß sie nun um $0,^m 05$ überhing.

Vier und zwanzig Stunden darnach leerte man den Kasten, und füllte ihn wieder von Neuem, die Mauer neigte sich um $0,^m 10$. So liefs man sie abermahls vier und zwanzig Stunden lang stehen, worauf der Kasten nochmahls geleert und frisch gefüllt ward. Die trockene Mauer trennte sich dann gerade so, wie die in Mörtel gelegte, an ihrem Fusse, und neigte sich um $0,^m 12$. So oft der Kasten geleert wurde, setzte sich die Mauer in ihre alte Lage zurück, so, daß sie nur eine Neigung von $0,^m 03$ beybehielt. Jener Theil der trockenen Mauer, welcher durch den Erddruck in Bewegung gesetzt war, und sich von der übrigen trennte, wog 16700 *hectogr.*, die ganze 18200 *hectogr.* Ein Kubik-Fufs wog $41,^{kil} 60$.

Der 23^{te} und 24^{te} Versuch wurden mit einer Erde angestellt, welche mit grobem Kies gemischt war, bey dem letzteren war eine Ueberhöhung angebracht. Bey beyden Versuchen ward blofs der Apparat verwendet.

Durch den 26^{ten} , 27^{ten} et 28^{ten} Versuch suchte Herr *Mayniel* die Reibung zu bestimmen, und zwar in dem 26^{ten} die Reibung der Erde, und in dem 27^{ten} et 28^{ten} , welche als Ein Versuch zu betrachten sind, die Reibung des Sandes. Da Herr *Mayniel* auf diese beyden Versuche ganz allein, seine Methode die *Theorie* des Herrn *Coulomb* anzuwenden begründet, so müssen sie etwas umständlicher beschrieben werden.

Der 26^{te} Versuch:

Der Widerstand war auf $\frac{1}{3}$ der Höhe des Kastenthores angebracht. Der Kasten wurde mit Dammerde gefüllt; in dem Augenblicke, als die Wirkung erfolgte, klappte das Thor oben um $0,^m 19$ und $0,^m 02$ unten. Es fielen $28\frac{1}{2}$ Mafse (*Pariser Kubik-Fufs*) Erde ab, welche zusammen $10450, 75$ *hectogr.* im Gewichte betrug. Die Wirkung gegen den Widerstand war 2240 *hectogr.*

Die Böschung, welche die abgefallene Erde zurück gelassen hatte, wurde nun dergestalt ausgeglichen, daß die Grundlinie des verticalen Durchschnittes von dem abgefallenen dreyseitigen Prisma auf der Höhe des Kastens eine Länge von $0,^m 82$ erhielt, (nämlich $0,^m 735$ als Entfernung der Bruchlinie und $0,^m 09$ für den Raum, um welchen das Thor im Mittel geklappt hatte).

Diese Böschung wurde mit einer aus gefalzten trockenen Bretern zusammen gesetzten Tafel bedeckt, welche glatt abgehobelt war. Der Widerstand wurde abermahls auf $\frac{1}{3}$ der Höhe des Thores angebracht, und sodann die früher abgefallenen $28\frac{1}{2}$ Kubik-Fuß Erde in den Kasten geworfen.

Während des Momentes der Wirkung klappte das Thor oben um $0,^m 10$ und unten $0,^m 01$.

Die Wirkung gegen den Widerstand war 3625 *hectogr.* Der Unterschied beyder Wirkungen beträgt daher 1385 *hectogr.*, welcher einem Erdgewichte von 644 *kilogr.* entspricht, dessen Wirkung durch die Reibung zerstört worden ist. (Es muß hier bemerkt werden, daß Herr *Mayniel* voraus setzt: die Erde habe auf der gehobelten Tafel gar keine Reibung).

Der 27^{te} und 28^{te} Versuch:

Der Widerstand wurde auf $\frac{1}{3}$ der Höhe des Kastenthores angebracht, und der Kasten mit grauem Sande angefüllt. Das abgefallene Prisma enthielt $45\frac{3}{4}$ Kubik-Fuß, welche den Widerstand überwältigten, dessen Gewicht 796,6 *kilogr.* betrug.

Nachdem der Kasten von dem abgefallenen Sande gereinigt war, ward das Thor geschlossen und der Gewichtskasten auf seine vorige Stelle gerückt, ohne etwas an dem Gewichte zu vermindern, und er bewegte sich eben so wie vorher, als 432 *kilogr.* auf die Wagschale gelegt worden waren; es war daher die Wirkung der abgefallenen $45\frac{3}{4}$ Kubik-Fuß gleich 432 *kilogr.*

Ein geschüttelter und abgestrichener Kubik-Fuß dieses Sandes hatte ein mittleres Gewicht von 47,42 *kilogr.*

Die Bruchlinie war auf der Höhe des Kastens $1,^m 26$ von dem vorderen Rande entfernt.

28^{ter} Versuch:

Nach Vollendung des vorher gegangenen Versuches bedeckte man die ausgeglichene Böschung mit der früher beschriebenen Tafel, und warf die $45\frac{3}{4}$ Kubik-Fuß in den Kasten. Der Widerstand befand sich auf $\frac{1}{3}$ der Höhe.

Diese $45\frac{3}{4}$ Kubik-Fuß Sand, welche wie früher 2169,4 *kilogr.* schwer waren, überwältigten jetzt die Reibung des Gewichtskastens, welcher mit 846 *kilogr.* belastet war. Der Sand wurde ausgeleert, das Thor geschlossen und der Gewichtskasten auf die vorige Stelle gerückt; 536,6 *kilogr.* beweg-

ten ihn auf die nämliche Art, wie früher der Druck des Sandes; woraus folgt, daß die Wirkung der $45\frac{3}{4}$ Kubik-Fuß Sandes, welche 2169,4 *kilogr.* Gewicht hatten, und auf einer glatt gehobelten Tafel gleiteten, 536,6 *kilogr.* betrug, während die Wirkung des nämlichen gleich schweren Sandes, als er auf der Sandfläche gleitete, nur 432 *kilogr.* war.

Die Anlage der natürlichen Böschung dieses Sandes war 1,^m98 auf 1,^m50 Höhe.

Die folgenden Versuche des Herrn *Mayniel* wurden alle mit Ziegelmauern veranstaltet, welche mit gewöhnlichem Kalk zu $\frac{1}{3}$ und $\frac{2}{3}$ Sand gemischt gemauert waren, diese Mauern wurden wie bey den früheren Versuchen anstatt des Kastenthores aufgeführt, und waren daher 1,^m5 hoch und 1,^m7 breit; ihre Dicke wechselte in den verschiedenen Versuchen.

Die Anschüttung bestand aus grauem trockenen Sand, und wurde bald gleich hoch, bald höher als die Mauer gemacht, und in dem letzten Falle auch mit Gewichten beschwert und benetzt.

In dem 29^{ten} Versuche wurde die auf beyden Seiten verticale Mauer 0,^m40 dick gemacht, sie fiel um (am 17^{ten} September) als die Anschüttung erst eine Höhe von 0,^m40, also nicht den dritten Theil erreicht hatte; es zeigten sich dabey die nämlichen Erscheinungen, wie früher, die Mauer fiel nämlich um, indem sie sich um die äußere unterste Kante drehete, und unten einen Theil des Mauerwerkes stehen liefs.

Das Gewicht eines Kubik-Fuß Sandes war 49,5 *kilogr.*; des Mauerwerkes 62,5 *kilogr.*

In dem 30^{ten} Versuche wurde die auf beyden Seiten verticale Mauer 0,^m45 dick gemacht, dieß geschah am 18^{ten} September; am 19^{ten} von 4 bis 6 Uhr Abends wurde der Kasten mit Sand gefüllt, während dieser Arbeit neigte sich die Mauer oben um einen *Centimetre*, blieb aber in dieser Lage bis zum 21^{ten}, wo man die Ueberhöhung (0,^m6 hoch) aufführte, was von 6 bis 7 Uhr Morgens vollendet war. In dieser Zeit neigte sich die Mauer noch um 0,^m07 mehr, so, daß die ganze Neigung nunmehr 0,^m08 betrug. Am 22^{ten} war die Neigung 0,^m1, und der Umsturz erfolgte am 23^{ten} um 10 Uhr Morgens, indem abermahls die Mauer sich um die äußere Kante ihres Fußes drehete, obwohl sie einen Riß oberhalb auf 0,^m0625 erhalten hatte.

Das Gewicht des Sandes betrug für einen Kubik-Fuß 46,64 *kilogr.*
Das Gewicht der Mauer ist nicht angegeben.

31^{ter} Versuch:

Am 26^{ten} September erbaute man eine auf beyden Seiten verticale Mauer 0,^m5 dick. Am 27^{ten} von 6 bis 8 Uhr Morgens wurde der Kasten mit dem nämlichen Sande gefüllt. Die Mauer neigte sich während dieser Arbeit um 0,^m001, und blieb so bis zum 28^{ten} Morgens, wo man sodann ein Parapet aufschüttete; nach beendigter Arbeit betrug die Neigung der Mauer 0,^m011.

Am 30^{ten} September Morgens bemerkte man keine weitere Veränderung, und nun benetzte man die Ueberhöhung mit sechs Gießkannen voll Wasser, und begann noch überdies die Ueberhöhung mit Gewichten zu beschweren.

Um 9 Uhr Morgens bemerkte man, daß die Mauer sich wieder weiter zu neigen anfangte; die Belastung betrug damahls 1306 *kilogr.*

Zwischen 9 und 11 $\frac{1}{2}$ Uhr Morgens fiel die Mauer um, nachdem man noch drey Gießkannen Wasser aufgeschüttet hatte.

Das Gewicht des in den 9 Gießkannen enthaltenen Wassers betrug 91,90 *kilogr.*

Sie trennte sich an dem schon gerissenen Theile 0,^m08 ober dem Boden des Kastens, mit ihr fielen 72 Kubik-Fuß Sand, und bald nachher noch 32 Kubik-Fuß ab. Das mittlere Gewicht desselben war 46,26 *kilogr.*, (das Gewicht des Mauerwerkes ist nicht angegeben).

32^{ter} Versuch:

Am 2^{ten} October wurde eine Mauer erbauet, welche unten 0,^m49, oben aber 0,^m34 zur Dicke erhielt; sie war an der inneren Seite mit zwey verticalen Absätzen versehen, wovon der erste bey $\frac{1}{3}$, der zweyte bey $\frac{2}{3}$ der Höhe angebracht war, nach aussen hatte die Mauer eine Böschung, welcher man $\frac{1}{20}$ der Höhe zur Anlage gab.

Am 3^{ten} October füllte man den Kasten mit dem nämlichen Sande voll, wobey die Mauer sich um 0,^m005 neigte. Als man am 6^{ten} October keine weitere Veränderung wahrgenommen hatte, wurde die Anschüttung in drey Zwischenräumen nach und nach mit 542,8 *kilogr.* belastet, wodurch die Neigung der Mauer bis auf 0,^m02 gebracht ward.

Vom 6^{ten} bis zum 15^{ten} erfolgte keine Veränderung der Mauer, man entschloß sich daher, die Steinstücke, welche die Belastung von 542,8 *kilogr.* bewirkt hatten, wegzunehmen, und dafür ein Parapet aufzuschütten, welches 45 Kubik-Fuß Sand enthielt, wovon ein Kubik-Fuß 44,25 *kilogr.* Gewicht hatte.

Die Mauer ertrug diese Arbeit ohne sich zu rühren.

Am 16^{ten} des Morgens legte man auf das Parapet ein Gewicht von 433,80 *kilogr.*, hierauf neigte sich die Mauer nur um 0,^m005 mehr. Um 9 Uhr fügte man noch weitere 296 *kilogr.* hinzu, worauf die Mauer eine Neigung von 0,^m02 mehr annahm; als um 1 Uhr Nachmittags keine Bewegung weiter zu bemerken war, vermehrte man die Belastung nochmahls um 237,70 *kilogr.*; sogleich erfolgte eine kleine Bewegung der Mauer, welche bis um 5 Uhr Abends währte, wo dann der Einsturz erfolgte, indem die Mauer bey dem früher entstandenen Risse, welcher von innen um 10 *Centimetres* höher als der Kastenboden war, und sich nach außen in gleicher Höhe mit demselben endigte, trennte, und die letzte Ziegellage mit fortrifs.

Es fielen ab 75 Kubik-Fuß Sand, dessen mittleres Gewicht 45,23 *kilogr.* betrug.

33^{ter} Versuch:

Am 4^{ten} November erbaute man eine auf beyden Seiten verticale Mauer von 0,^m4 Dicke.

Am 6^{ten} um 3 Uhr Nachmittags wurde der Kasten mit Sand gefüllt, wobey die Neigung der Mauer 0,^m05 erreichte.

Am 7^{ten} betrug die Neigung 0,^m065.

Am 14^{ten} fand man die Mauer in derselben Lage, wie sie am 7^{ten} war; nur war der Sand zwischen der Mauer und der Stelle der Ablösung etwas eingesunken, und man füllte daher diese Vertiefung aus. Nachdem dieß geschehen war, betrug die Neigung 0,^m08.

Diese Neigung vergrößerte sich um 0,^m06 oder 0,^m07 des Tages, und um das Doppelte jede Nacht (?) bis zum 20^{ten}, an welchem Tage die Mauer umstürzte, indem sie sich um die äußere Kante ihres Fußes drehete, und es blieben nur die zwey letzten Ziegeln des Fundamentes auf der Seite des Kastens liegen.

In dem Augenblicke des Umsturzes war die Mauer von dem oberen Rande des Kastens $0,^m185$ entfernt, und der abgefallene Sand betrug 46 Kubik-Fuß in einem mittleren Gewichte von 48,3 *kilogr.* Diesem folgten alsbald noch 7 Kubik-Fuß Sand, welche nachfielen.

Ein Kubik-Fuß Mauerwerk hat gewogen 62,5 *kilogr.*

Wenn man in diesen letzten Versuchen (vom 29^{ten} an) die Grundlinie des verticalen Durchschnittes von dem abgefallenen Prisma beobachtet, so findet man die Entfernung der erfolgten Ablösung von der inneren Seite der Mauer:

29^{ter} Versuch, reducirt auf die Höhe des Kastens mit $1,^m42$.

30^{ter} Versuch, die Anschüttung mit einem Parapete erhöht, die Entfernung der Ablösung auf der Höhe des Kastens gemessen, war $1,^m18$.

31^{ter} Versuch, die Anschüttung ebenfalls mit einem Parapete erhöht, und die Entfernung der Ablösung auf der Höhe des Kastens gemessen, betrug $1,^m21$.

32^{ter} Versuch, die Anschüttung mit einem Parapete erhöht, betrug die Entfernung der Ablösung auf der Höhe des Kastens gemessen: $1,^m10$.

33^{ter} Versuch, die Anschüttung mit der Mauer gleich hoch, war die Entfernung der Ablösung von der inneren Seite der Mauer gleich $1,^m47$, wenn man das, was nachgefallen ist, mitrechnet.

Folgerungen aus den Versuchen zu *Juliers*.

Aus den Ergebnissen der angestellten Versuche ziehet Herr *Mayniel* nachstehende Folgerungen:

1^{tens}. Daß trockene und vollkommen lockere Dammerde, wenn solche hinter einem Hindernisse aufgeschüttet wird, welches derselben nicht erlaubt, nach der natürlichen Böschung abzufallen, durch die dann erfolgende Setzung und Pressung der Erdtheile eine dem Abfalle widerstrebende Festigkeit erlange, dergestalt, daß nur ein Theil desjenigen Erdkörpers wirklich abfällt, welcher abgefallen seyn würde, wenn es möglich gewesen wäre, das Hinderniß augenblicklich, und vor erfolgter Setzung zu entfernen.

2^{tens}. Daß, wenn die Erde sorgfältig gestossen worden ist, nach Hingewnahme des Hindernisses ein kleinerer Erdkörper abfalle, als bey der

lockeren Erde; es müsse daher der zwischen der natürlichen Böschung und der erfolgten Ablösung begriffene zurück gebliebene Erdkörper durch die Reibung und *Cohaesion* zurück gehalten worden seyn, während bey der lockeren Erde nur die Reibung allein dem Gewichte entgegen wirkt.

3^{tens}. Vergleicht man die Entfernungen der Ablösung von der inneren Thorwand bey den Anschüttungen mit und ohne Ueberhöhung; so findet man: daß die Ueberhöhung die Richtung der schiefen Ebene, nach welcher die Erde abfällt, nicht ändere; und man ist um so mehr berechtigt, diesen Schluß zu machen, da, obwohl der Widerstand auf $\frac{2}{3}$, $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{3}$ der Höhe abwechselnd angebracht war, die gefundenen Differenzen doch so klein ausfallen, daß man sie füglich außer Acht lassen kann.

4^{tens}. Durch den 19^{ten} und 20^{ten} Versuch hat es sich erwiesen: daß der Druck der Erde auf den Umsturz und nicht auf das Verschieben wirke; denn in diesen beyden Versuchen war der Widerstand bey $\frac{1}{2}$ der Höhe angebracht, und da demungeachtet das von den Charnieren befreyte Thor umgestürzt worden ist, als ob es unten an Angeln befestiget gewesen wäre; so würde dieß um so mehr geschehen seyn, wenn der Widerstand bey $\frac{1}{3}$ der Höhe entgegen gewirkt hätte.

Wenn daher eine Futtermauer nach vorwärts verschoben wird; so kann dieß Ereigniß nur durch einen Fehler in den Grundmauern herbey geführt werden. Eine Futtermauer, wenn sie fällt, muß, wenn die Erde an der äußeren Seite der Grundmauer ausgehoben worden ist, sich nach einer Linie brechen, welche an der inneren Seite der Mauer in der Höhe des natürlichen *Terrains* ihren Anfang nimmt, und in diagonalen Richtung nach Außen und abwärts gerichtet ist; ist aber das Grundmauerwerk in dem festen Boden eingesenkt, dann wird die Futtermauer im Umfallen sich um die äußere Kante ihres mit dem natürlichen *Terrain* gleich hohen Fußes drehen.

Diese Thatsache wurde durch die Versuche 21, 22, 29, 30, 31, 32, 33 und selbst durch Mauern von 20 Fuß Höhe bestätigt, welche alle so umgestürzt worden sind.

5^{tens}. Aus dem Vergleiche der in dem Apparate und mit Mauern angestellten Versuche gehet hervor, daß die Zusammengesetzte des Erddruckes bey $\frac{1}{3}$ der Höhe des Widerstandes durchgehe.

Die Versuche, bey welchen der Widerstand nicht bey $\frac{1}{3}$ der Höhe angebracht war, geben keine vergleichbaren Resultate, wodurch der obige Schluß noch bekräftigt wird.

6^{ten}. Der 26^{te} Versuch, durch welchen die Reibung der Dammerde hat erhoben werden sollen, gab (den Widerstand bey $\frac{1}{3}$ der Höhe angebracht) die Wirkung mit 224 kilogr. Nachdem die Hypothenuse mit einer hölzernen Tafel belegt worden war, hatte die früher abgefallene Erde mit 362 kilogr. gewirkt. Der Unterschied der Wirkung beträgt daher 138 kilogr., und dieser Unterschied (mit dem Gewichte des drückenden Prisma's und der Wirkung von 224 kilogr. verglichen) entspricht einem Erd-Prisma von 644 kilogr. im Gewichte.

In dem dritten Buche seines Werkes, Seite 131, vergleicht Herr *Mayniel* das Gewicht des durch die Reibung zurück gehaltenen Erd-Prisma's, nämlich: die gefundenen 644 kilogr. mit dem auf die Hypothenuse senkrechten Druck $PI + QL$, welcher durch das Gewicht des abgefallenen Prisma's und den Widerstand des Hindernisses hervor gebracht wird, und findet:

Bey der Dammerde, daß das Verhältniß der Reibung zum Drucke, welches er durch (f) ausdrückt, gleich sey 0,5. Bey dem Sande, daß f gleich sey 0,4.

7^{ten}. Wenn man die Gewichte, welche die Wirkungen des Erddruckes vorstellen, mit dem Gewichte der abgefallenen Erd-Prismen vergleicht; so findet man aus dem 7^{ten} Versuche mit lockerer Erde und Ueberhöhung, und aus dem 15^{ten} Versuche, wo die nämliche Erde fest gestossen und ebenfalls mit einer Ueberhöhung versehen war, daß das Verhältniß des kubischen Inhaltes der abgefallenen Erdkörper durch $\frac{1}{12}$, jenes der Gewichte dieser Erdkörper durch $\frac{3}{4}$, und jenes des ausgeübten Druckes durch $\frac{1}{5,11}$ ausgedrückt werden kann.

Der 6^{te} Versuch, in welchem die Anschüttung aus lockerer Erde bestand, und nur so hoch als der Kasten gemacht war, verglichen mit dem 16^{ten}, wo die nämliche Erde auf gleiche Höhe fest gestossen wurde, gibt das Verhältniß des kubischen Inhaltes der abgefallenen Erdkörper mit $\frac{1}{12}$, das Verhältniß der Gewichte dieser Erdkörper mit $\frac{3}{4}$, und jenes des ausgeübten Druckes mit $\frac{1}{5,9}$.

In allen hier genannten Versuchen war der Widerstand auf $\frac{1}{3}$ der Höhe angebracht, die übrigen, in welchen dieß nicht der Fall war, geben keine vergleichbaren Resultate.

Herr *Mayniel* hat auch die *Theorie* des Herrn *Coulomb* umgearbeitet, indem er statt den Liniengrößen Winkelgrößen substituirt, und eine allgemeine Auflösung dieser *Theorie* versuchte. Da er jedoch nicht den Weg gehen wollte, welchen Herr *Prony* eingeschlagen hatte, und durch seine Reibungsversuche verführt, auch nicht wohl nehmen konnte; so konnten die allgemeinen Ausdrücke für die Grundlinie des Prisma's vom größten Drucke (Seite 115), und für den Druck Q (Seite 116) nicht die Einfachheit jener des Herrn *Prony* erhalten.

Um den Leser in den Stand zu setzen, die Ergebnisse der theoretischen Forschungen des Herrn *Mayniel* mit jenen der Herren *Prony* und *Français* zu vergleichen, werden wir im Auszuge die vorzüglichsten seiner Formeln, und seine Art, sie anzuwenden, anführen.

Herr *Mayniel* nennt den Winkel BAG , welchen die Hypothenuse des Prisma's vom größten Drucke, nämlich AG , mit der verticalen AB macht $= \varphi$, den Winkel BAD oder BAD' , welchen die innere Seite des Hindernisses, welche wie immer geneigt seyn kann, mit eben dieser verticalen AB macht $= +$ oder $- e$, je nachdem diese Neigung in Bezug auf die Erde entweder nach auswärts ($+ e$) oder nach einwärts ($- e$) gerichtet ist. Ferner drückt er das Verhältniß der Reibung zum Drucke durch (f) und die *Cohaesion* auf die Einheit der Fläche durch (c) aus. Plan 1, Fig. 14.

Indem er ganz so wie *Coulomb* vorgehet, findet er die *Tangente* des Winkels φ , durch welchen das Prisma vom größten Drucke bestimmt wird.

1^{ens}. Für den Fall, wenn die innere Seite des Hindernisses vertical ist:

$$\text{Tang. } \varphi = -f + \sqrt{1 + f^2}.$$

2^{ens}. Wenn die innere Seite des Hindernisses unter dem Winkel e gegen die Erde geneigt ist (liegende Mauer):

$$\text{Tang. } \varphi = \frac{f - \text{Tang. } e}{-1 - f \cdot \text{Tang. } e} + \sqrt{1 + \left(\frac{f - \text{Tang. } e}{-1 - f \cdot \text{Tang. } e} \right)^2}.$$

3^{tes}. Wenn die innere Seite des Hindernisses unter dem Winkel e von der Erde weg geneigt ist:

$$\text{Tang. } \varphi = \frac{\text{Tang. } e + f}{f \cdot \text{Tang. } e - 1} + \sqrt{1 + \left(\frac{f + \text{Tang. } e}{f \cdot \text{Tang. } e - 1} \right)^2}.$$

Für die Dammerde z. B. hat Herr *Mayniel* die Reibung f mit 0,5 gefunden; setzt man diesen Werth in obige Ausdrücke, so erhält man für den ersten Fall, wo $e = 0$ ist:

$$\text{Tang. } \varphi = 0,618.$$

Für den zweyten Fall, wenn die Neigung der Mauer an der inneren Seite z. B. $= \frac{h}{5}$, und daher $\text{Tang. } e = \frac{1}{5}$ ist:

$$\text{Tang. } \varphi = 0,763.$$

Für den dritten Fall, wenn die Neigung von der Erde weg wie oben $\frac{h}{5}$, also $\text{Tang. } e = \frac{1}{5}$ ist:

$$\text{Tang. } \varphi = 0,489.$$

Die allgemeine Formel für den Druck ist nach Herrn *Mayniel* folgende, wenn die *Cohaesion* gleich 0 gesetzt wird:

$$Q = \frac{\frac{d h^2}{2} \text{Tang. } \varphi + \frac{d h^2}{2} \text{Tang. } e - \frac{d f h^2}{2} \text{Tang.}^2 \varphi + \frac{d f h^2}{2} \text{Tang. } e \cdot \text{Tang. } \varphi}{\text{Cos. } e \cdot \text{Tang. } \varphi + \text{Sin. } e + f \cdot \text{Cos. } e + f \cdot \text{Sin. } e \cdot \text{Tang. } \varphi}$$

in welcher d das Gewicht der Erde, und h die Höhe der Anschüttung und des gleich hohen Hindernisses bedeutet; und die oberen Zeichen, wenn ihrer zwey vorkommen, zu wählen sind, wenn e verneinend, die unteren aber, wenn e bejahend zu nehmen ist.

Wird die innere Seite des Hindernisses vertical voraus gesetzt, dann ist $\text{Tang. } e = 0$, $\text{Sin. } e = 0$, und $\text{Cos. } e = 1$, in diesem Falle wäre daher, für $\text{Tang. } \varphi$ der Werth 0,618 substituirt, und $f = 0,5$ gesetzt:

$$Q = d h^2 (0,1909).$$

Wenn das Hinderniß an der inneren Seite geneigt ist, dann ändert sich der Werth von Q mit dem Winkel e , welcher jedoch immer als bekannt voraus gesetzt werden kann, weil man wissen wird, welche Neigung man der Mauer an der inneren Seite geben will.

Die Länge des Hebelsarmes, an welchen der Erddruck wirkt, gibt die *Theorie* gleich einen Drittheil der Höhe des Hindernisses, unter der Voraussetzung, daß die innere Seite der Mauer vertical ist, und die Erde keine *Cohaesion* habe.

Herr *Mayniel* nimmt aber auch in den Fällen, wo die innere Seite des Hindernisses welch immer für eine Neigung hat, die Länge des Hebelsarmes gleich $\frac{1}{3}$ der Höhe des Hindernisses an. Diese Annahme ist unrichtig; denn weil die Richtung des Druckes stets senkrecht auf die Richtung der inneren Seite des Hindernisses angenommen werden muß; so kann diese Richtung nicht horizontal seyn, wenn das Hinderniß innen geneigt ist; und die Länge des Hebelsarmes bestimmt sich dann, durch die Normale auf die Richtung der Kraft, welche Linie aber kürzer oder länger als $\frac{h}{3}$ seyn kann, je nachdem das Hinderniß an der inneren Seite entweder gegen die Erde oder von der Erde weg geneigt ist.

Den Druck *cohaerirender* Erde bestimmt Herr *Mayniel* bloß nach seinen Versuchen, und zwar aus den oben erwähnten 6^{ten} und 16^{ten}, welche mit lockerer und fest gestossener Erde unternommen wurden.

Er vergleicht den Druck der lockeren mit jenem der fest gestossenen, und findet nach diesen Versuchen: *daß die fest gestossene Dammerde nur den sechsten Theil des Druckes lockerer Dammerde ausübe*. Um jedoch in der Ausführung sicher zu gehen, schlägt er vor: den Druck der fest gestossenen Dammerde nur zu $\frac{1}{6}$ des Druckes lockerer Dammerde anzunehmen; da also für lockere Dammerde

$Q = dh^2$ (0,1909); so wäre für die fest gestossene:

$$Q' = \frac{dh^2}{3} \left(0,1909 \right).$$

Die Länge des Hebelsarmes nimmt Herr *Mayniel* auch bey der *cohaerirenden* Erde gleich $\frac{1}{3}$ der Höhe des Widerstandes an, so, daß daher

$$\text{Moment } Q' = \frac{dh^3}{9} \left(0,1909 \right).$$

Bemerkungen über die Versuche des Herrn *Mayniel*.

Herrn *Mayniel's* Werk erhielt die Billigung der *Comité des Fortifications*, welche in ihrem Berichte an den Kriegsminister vom 27^{ten} Februar 1808

darauf antrug, daß derselbe wegen der von ihm unternommenen so wichtigen Ausarbeitung, die sich auf Versuche gründen, belobt und aufgemuntert werden wolle; und daß nicht minder auch den Herren *Launier*, Major, so wie *Derché* und *Fortin*, Hauptleuten im *Genie-Corps*, wegen des Eifers, mit welchem sie Herrn *Mayniel* bey den ersten Versuchen unterstützten, die Zufriedenheit zu erkennen gegeben werde.

Herrn *Mayniel's* Versuche sind die größten und umfassendsten, welche bisher unternommen worden waren, sie wurden mit der Theorie in Verbindung gesetzt und verglichen, und in einem eigenen Theile des Werkes die Anwendung abgehandelt; so, daß also Herrn *Mayniel's* Werk über den Druck der Erde nicht nur am ausführlichsten handelt, sondern auch *Authoritäten* für sich hat, die geeignet sind, Vertrauen einzufloßen.

Jeder aber, der dieses Werk mit Aufmerksamkeit durchgehet, wird bald auf offenbare Mängel, sowohl bey den Versuchen, als auch bey dem *theoretischen* Theile stoßen, welche das anfänglich gefasste Vertrauen mit Recht erschüttern.

Wir wollen hier dasjenige vorzüglich anführen, was uns über die Versuche selbst zu bemerken nothwendig geschienen hat.

1^{ens}. Der Apparat, dessen sich Herr *Mayniel* bediente, ist einfach und in der Hauptsache gut ausgedacht; die Wichtigkeit des zu erhebenden Gegenstandes hätte es aber verdient, daß er solider und bequemer für die Manipulation wäre hergestellt worden, denn ohne diese beyden Eigenschaften kann man nicht hoffen, genaue und vollkommen verlässige Resultate zu erhalten.

Herr *Mayniel* irret sich, wenn er glaubt, daß das Gewicht auf der Wagschale unmittelbar den Werth des Druckes der Erde angebe; er vergißt nämlich auf die Reibung, welche an dem Zapfen der Rolle Statt findet, und auf die Reibung in den Angeln des Kastenthores. Es wäre zwar strenge genommen, auch die Steifheit des Seiles und die Reibung desselben auf der Rolle zu beachten, allein die hierfür entfallenden Werthe können als unbedeutend angesehen werden; was jedoch insbesondere bey der Reibung an dem Zapfen der Rolle nicht der Fall ist.

2^{ens}. Herr *Mayniel* hat zu viel auf ein Mahl erheben wollen, und darunter Manches erhoben, worüber die Bestätigung durch Versuche überflüssig war.

So hat er durch Versuche finden wollen, wo die Zusammengesetzte des Druckes durchgehe; da doch der Punct, wo diese Zusammengesetzte durchgehen muß, durch die *Theorie* unbezweifelbar bestimmt wird. Wenn aber hierüber noch Zweifel obwalten könnten, so wären die hierwegen angestellten Versuche des Herrn *Gauthey* geeigneter gewesen, sie zu lösen, als die Versuche des Herrn *Mayniel*. Denn da selbst die lockerste Erde nicht frey von *Cohaesion* ist, und diese sich ändert, wenn die nämliche Erde öfter dem Versuche unterworfen wird; so modificirt sich auch der Druck bey jedem Versuche, und die an verschiedenen Tagen vorgenommenen Versuche, bey welchen der Widerstand ein Mahl bey $\frac{2}{3}$, dann bey $\frac{1}{2}$, endlich bey $\frac{1}{3}$ der Höhe angebracht war, lassen keine strenge Vergleichung unter sich zu, weil etwas, was nicht Statt findet, nämlich: eine gleiche Wirkung bey jedem Versuche, hierbey voraus gesetzt werden muß.

Herr *Mayniel* hat also eine Menge ganz unnützer Versuche gemacht, und es sind ihm nur wenige zu Vergleichen brauchbare übrig geblieben; dieß ist aber ein großer Nachtheil bey Versuchen, weil, um mögliche Irrungen zu vermeiden und begangene zu entdecken, man einer Reihe von Versuchen bedarf, und nur durch Wiederholungen eine vollständige Ueberzeugung sich verschaffen kann.

Für cohaerirende Erde gibt die Theorie, daß die Zusammengesetzte tiefer, als bey $\frac{1}{3}$ der Höhe durchgehe; demungeachtet wurden zwar ohne Ueberhöhung drey Versuche gemacht, einer, wo der Widerstand bey $\frac{2}{3}$, der zweyte, wo der Widerstand bey $\frac{1}{2}$, und der dritte, wo der Widerstand bey $\frac{1}{3}$ der Höhe angebracht war, eben so wurde mit der überhöhenden Anschüttung verfahren; allein es wurde kein einziger Versuch gemacht, wo der Widerstand tiefer angebracht gewesen wäre, und weil dieß nicht geschehen ist, so konnte auch nicht der größte Druck der cohaerirenden Erde erhoben werden, und die ohnehin nur aus einem einzigen Versuche abgeleiteten Folgerungen können daher schon aus diesem Grunde kein Vertrauen verdienen.

Die Anschüttungen von Sand ließ man alle gegen Mauern drücken, welche noch größten Theils mit Mörtel hergestellt waren. Bey solchen Versuchen ist die GröÙe des Widerstandes von mehreren Nebenumständen abhängig, deren äußerst genaue Erhebung nothwendig ist, wenn die Ver-

suche, wie es hier der Fall war, im Kleinen unternommen werden, weil ein kleiner Fehler hier begangen, und auf das Große angewendet, gefährlich werden kann. Solche Versuche sollen, unserer Meinung nach, erst dann vorgenommen werden, wenn dasjenige, was von der Theorie durch Versuche bestätigt oder berichtigt werden kann und soll, in dem Apparate vollständig erhoben worden ist; dann aber sollen sie, so viel thunlich, im großen Maßstabe ausgeführt werden, um zu sehen, wie die im Kleinen beobachteten Erscheinungen sich im Großen modificiren.

3^{tes}. Herr *Mayniel* wollte durch seine Versuche auch die Grundlinie des Prisma's vom größten Drucke finden; diese Erhebung fordert die größte Aufmerksamkeit und Genauigkeit, denn es ist fast nicht zu vermeiden, daß bey dem Abfalle des Prisma's vom größten Drucke nicht auch ein Theil der nicht drückenden Erdmasse mit fortgerissen werde.

Hier sind also Abweichungen bey den Erhebungen unvermeidlich, und eben darum oft wiederholte Versuche nöthig. Herr *Mayniel* hat zwar in allen seinen Versuchen die Entfernung der Bruchlinie von der inneren Seite des Kastenthores angegeben, macht aber in der Anwendung keinen Gebrauch davon; sondern bestimmt dieselbe durch die von ihm gefundene Reibung aus der Formel $Tang. \varphi = -f + \sqrt{1 + f^2}$; ist hieraus durch Substituierung des Werthes für f , $Tang. \varphi$ gefunden, so gibt $h \cdot Tang. \varphi$ die Entfernung der Bruchlinie von der inneren Seite des Hindernisses. Bey dieser Bestimmung kommt daher Alles darauf an, daß die Reibung vollkommen richtig gefunden sey.

4^{tes}. Wie Herr *Mayniel* die Reibung erhoben hat, ist schon in den oben angeführten Versuchen (26, 27 et 28) umständlich angegeben worden. Wir glauben, es bedürfe keiner weitläufigen Auseinandersetzung, um zu zeigen, daß diese Erhebungsart ganz irrig war, denn die Erde reibt sich auch auf der gehobelten Tafel, und wirkt daher nicht, wie der Verfasser voraus setzt, ohne alle Reibung. Eigentlich konnte durch diese Versuche nur der Unterschied zwischen der Reibung der Erde auf Erde, und der Reibung der Erde auf gehobeltem Holze gefunden werden.

Da Herr *Mayniel* der Annahme des Herrn *Prony*, daß die natürliche Böschung den Reibungswinkel bestimme, nicht beypflichten will, sondern

diese Annahme (Seite 126) zu widerlegen sucht; so glaubt man, daß es nöthig gewesen wäre, wiederholte und richtige Versuche über die Reibung anzustellen, wenn auf diesem Wege über einen Gegenstand, welcher bey der Bestimmung der GröÙe des Erddruckes so wichtig ist, volle Gewißheit hat erlangt werden sollen. Wir sehen aber, daß er nur einen *einzig* Versuch dieser Art mit gewöhnlicher Erde, und eben so nur *einen* mit Sand gemacht habe; und es muß daher billig in Verwunderung setzen, wie er auf das Resultat eines *einzig*, in seinem Principe fehlerhaften Versuches seine ganze Anwendung der Theorie des Herrn *Coulomb* gründen, und seine weitläufige Arbeit auf so unhaltbarem Grunde ausführen konnte, ohne den begangenen Irrthum zu entdecken.

5^{tes}. Es sollte durch die Versuche auch der wirkliche Druck der Erde gegen ein verticales Hinderniß practisch gefunden werden. Erwähnt wurde schon früher, daß das Gewicht auf der Wagschale die GröÙe des Druckes nicht unmittelbar angebe, wir müssen nur noch hinzu fügen, daß auch die Annahme des Herrn *Mayniel* (welche er mit anderen Schriftstellern übereinstimmend macht), die lockere Erde habe keine *Cohaesion*, mit den Erscheinungen in der Natur nicht übereinstimmend sey. Denn wir haben durch unsere Versuche uns überzeugt, daß selbst eine sehr trockene und möglichst lockere Erde noch eine bedeutende *Cohaesion* zeige, durch welche der Druck vermindert wird, und daß selbst der Sand und Schotter nicht ganz frey davon seyen. Ist aber *Cohaesion* vorhanden, dann wirkt der Erddruck an einem kleineren Hebelsarme, als der bey $\frac{1}{3}$ der Höhe angebrachte Widerstand, und die wahre GröÙe des Druckes kann nur dann, wenn die *Cohaesion* bekannt ist, durch Rechnung gefunden werden, wie wir in den Bemerkungen über unsere Versuche zeigen werden. Uebrigens hat Herr *Mayniel* zu wenig Versuche angestellt, in welchen der Widerstand bey $\frac{1}{3}$ der Höhe, also da angebracht gewesen ist, wo die Zusammengesetzte nach seiner Voraussetzung hätte durchgehen sollen; die daraus gezogenen Resultate konnten daher selbst dann, wenn man von der *Cohaesion* abstrahiren wollte, nicht jene Schärfe haben, welche zur Beruhigung in der Anwendung nothwendig ist.

Allein Herr *Mayniel* macht auch von den, mit dem Apparate gemachten Erhebungen des Erddruckes keinen Gebrauch, und in dieser Beziehung

sind daher diese Versuche für ihn ganz überflüssig gewesen; sondern er vergleicht die Ergebnisse der *Theorie* mit den Resultaten jener Versuche, welche mit Mauern angestellt wurden. Bey diesem Vergleiche findet er, daß die *Coulombische* Theorie, nach seiner Art entwickelt, nämlich: indem man die durch ihn gefundene Reibung substituirt, mit der Erfahrung vollkommen übereinstimme.

Diese Behauptung ist zu wichtig, als daß wir unterlassen könnten, sie näher zu beleuchten.

Der 21^{te} und 22^{te} Versuch sind die einzigen, welche mit einer aus lockerer Dammerde bestehenden Anschüttung gemacht wurden; wir haben beyde oben mit allen Umständen, welche der Herr Verfasser angibt, mitgetheilt. In dem 21^{ten} Versuche war die 0,^m4 dicke Mauer mit Trass-Mörtel hergestellt worden, welchen man durch zwey Tage trocknen ließ; in dem 3^{ten} Theile (Seite 135) setzt aber der Verfasser in der Rechnung, durch welche er die Uebereinstimmung dieses Versuches mit der Theorie beweisen will, die *Cohaesion* des Mörtels = 0, was bey einem so schnell trocknenden Mörtel offenbar nicht angehen kann. Ueberhaupt war es der Reinheit der Erhebungen entgegen, die Mauern mit Mörtel herstellen zu lassen, wenn die Bindekraft desselben nicht in Rechnung gebracht war.

Wir sehen aber auch, daß erst, nachdem man durch Ueberhöhungen die Bindekraft des Mörtels zerstört hatte, es durch neue Anschüttungen und Ueberhöhungen gelang, die Mauer umzuwerfen. Wir folgern hieraus, daß die Mauer auch ohne Mörtel stark genug gewesen sey, um einer gleich hohen Anschüttung das Gleichgewicht zu halten.

Herr *Mayniel* urtheilt anders; weil die Mauer umgeworfen wurde, was jedoch nur durch eine 0,^m6 hohe Ueberhöhung gelang, welche, wie man sieht, im Verhältniß zu der ganzen Höhe sehr bedeutend war; so erklärt er sie für zu schwach, und beweiset dieß durch seine Theorie, wie folgt.

Seine Formel für die Mauerdicke einer auf beyden Seiten verticalen Mauer bey einer gleich hohen Anschüttung von lockerer Dammerde ist:

$$x = h \sqrt{\frac{d}{\pi} \left(0,12731 \right) ; ;}$$

da aber nach seiner Angabe das Gewicht der Erde $d = 38$ kilogr., das

Gewicht der Mauer sammt Mörtel $\pi = 60 \text{ kilogr.}$, und $h = 1,^m5$ gewesen seyn soll; so wird

$x = 0,^m426$ stärker als die wirklich ausgeführte, wesswegen sie auch, wie Herr Verfasser behauptet hat, umfallen müssen.

Allein den Umsturz bewirkte nicht eine gleich hohe, sondern eine überhöhende Anschüttung, bey der gleich hohen Anschüttung neigte sich die Mauer nur sehr wenig.

Substituirt man Herrn *Mayniels* Angaben für die Ausmassen und Gewichte in der Formel (24) des Herrn *Français*, um die Mauerdicke unter gleichen Umständen nach der wahren *Theorie* zu finden; so hat man

$x = h \text{ Tang. } \frac{1}{2} a \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \frac{d}{\pi}}$, und wenn man für $\text{Tang. } \frac{1}{2} a$, den durch viele Versuche gefundenen Werth von $0,477$ setzt; so wird

$$x = 1,5 \times 0,477 \times \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \frac{38}{60}}$$

$$x = 0,^m329.$$

Da wir uns durch Versuche die vollkommenste Ueberzeugung verschafft haben, daß eine nach dieser Theorie berechnete Mauer dem Erd- drucke das Gleichgewicht halte; so sind wir im Stande, mit Grund zu behaupten, daß die $0,^m4$ dicke Mauer des 21^{ten} Versuches noch eine Ueber- wucht gehabt habe, und nicht zu schwach gewesen sey, wie der Verfasser glaubt, was auch der Versuch selbst bestätigt hat.

In dem 22^{ten} Versuche wurde die trockene Ziegelmauer $0,^m5$ dick gemacht, sie widerstand allen Versuchen, sie mit einer gleich hohen An- schüttung umzuwerfen, sie neigte sich nur ein wenig vor. Die größte Neigung, welche die Mauer nach mehrmahligem Ausleeren und Wieder- anfüllen annahm, betrug nur $0,^m12$ oben gemessen; und wir müssen hier bemerken, daß eine trockene Ziegelmauer bey einem noch so kleinen Drucke eine Neigung annehmen muß, weil die vorderen Fugen sich schlie- ßen, die hinteren dagegen sich öffnen, und daß daher eine solche Neigung kein unmittelbarer Beweis von ihrer Schwäche sey.

Substituirt man die Angaben des Herrn *Mayniel* in der Formel (24), indem man zugleich $\text{Tang. } \frac{1}{2} a = 0,477$ setzt; so hat man:

$$x = 1,5 \times 0,477 \times \sqrt{\frac{38}{41,6}}$$

$$x = 0,^m 394.$$

Die aufgeführte 0,^m 5 dicke Mauer hatte demnach eine bedeutende Ueberwucht, und der Versuch bestätigte dieß auch.

Allein Herr *Mayniel* findet nach seiner Theorie, daß die Mauerdicke 0,^m 51 hätte seyn sollen, und behauptet, daß sie darum fast im Gleichgewichte gewesen sey, und sich nur darum etwas geneigt habe, weil sie um 0,^m 01 schwächer war.

Nach dem, was wir eben nach den bey unseren Versuchen gemachten Beobachtungen über die Neigung der trockenen Ziegelmauer gesagt haben, würde auch eine dickere Mauer, als die in dem Versuche aufgeführte, sich geneigt haben, und wir möchten doch wissen, wie Herr *Mayniel* diesen Umstand dann mit seiner Theorie in Einklang gebracht haben würde.

Wir können nicht umhin auf das sonderbare Verfahren des Verfassers, das Gleichgewicht zwischen Druck und Widerstand durch Versuche zu finden, aufmerksam zu machen.

Die erstere Mauer ließ er durch *Ueberhöhung der Anschüttung* umwerfen, und erklärte sie darum für zu schwach; die zweyte konnte durch eine *gleich hohe Anschüttung* nicht umgeworfen werden, und darum erklärt er, daß sie im Gleichgewichte sich befunden haben müsse!

Diese Methode kann wohl dazu dienen, um Mauerdicken zu bestimmen, die für das, was sie leisten sollen, viel zu stark sind; allein die Wissenschaft hat durch sie nichts gewonnen.

Aehnliche Bemerkungen, wie die gemachten, müßten wir bey allen folgenden mit Mauern und Anschüttungen von Sand wiederholen; wir beschränken uns daher nur auf zwey besonders auffallende Versuche, nämlich: den 29^{ten} und 33^{ten}. In dem 29^{ten} Versuche fiel die 0,^m 4 dicke mit gewöhnlichem Mörtel hergestellte Mauer um, nachdem die Anschüttung nicht den dritten Theil der Höhe erreicht hatte. Dieß Ereigniß muß durch einen besonderen Umstand veranlaßt worden seyn, welchen der Verfasser verschweigt. Denn in dem 30^{ten} Versuche konnte die 0,^m 45 dicke gleich hohe Mauer erst durch eine Ueberhöhung von 0,^m 6 umgeworfen werden.

Wahrscheinlich, um das Auffallende etwas zu mildern, gibt der Verfasser das Gewicht des Sandes in dem 29^{ten} Versuche zu 49,5 kilogr. (88,357 Wiener Pfund); und in dem Tags darauf vorgenommenen 30^{ten} Versuche nur zu 46,6 kilogr. (83,181 Wiener Pfund) an; der Kubik-Fuß Sand ist demnach über Nacht um 5,1 Pfund leichter geworden.

In dem 33^{ten} Versuche war die Mauer nur 0,^m4 dick, sie trug eine gleich hohe Anschüttung des nämlichen Sandes, sie neigte sich Anfangs und täglich mehr, bis sie, nachdem sie vom 4^{ten} bis 20^{ten} November gestanden hatte, endlich umfiel. Dieser Versuch, welcher mit dem 29^{ten} im vollkommenen Widerspruche steht, zeigt eine andere besondere Erscheinung, die nämlich, daß eine Mauer, welche dem Drucke der Erde weicht, so lange Zeit bedürfe, um umzufallen. Wir glauben, daß die Ursache des Einsturzes dieser Mauer in einem Fehler des Fundamentes zu suchen sey, durch welchen allein sich die Thatsache erklären liesse. Warum aber die Neigung der Mauer während der Nacht um das Doppelte von dem zugenommen habe, was die Zunahme während des Tages betragen hatte, dürfte wohl für immer ein Räthsel bleiben.

6^{tes}. Herr *Mayniel* hat gefunden, daß sorgfältig gestoßene Dammerde nur mit dem *sechsten* Theile des Druckes lockerer Dammerde drücke.

Wir haben durch unsere Versuche gefunden, daß sorgfältig gestoßene sehr trockene Dammerde sich auf einer Höhe von 11,06 Wiener Fuß; und etwas feuchte Erde dieser Gattung auf einer Höhe von 12,87 Wiener Fuß sich vertical erhalte, und somit keinen Druck ausübe.

Herrn *Mayniels* Apparat war nur 4 Fuß 7 Zoll Wiener Maß hoch, und doch sollte die sorgfältig gestoßene Dammerde einen so bedeutenden Druck ausgeübt haben? Die Erde zu *Juliers* ist zwar nicht die Erde von *Wien*, der Unterschied der Wirkungen ist aber doch unglaublich. Wenn wir uns auch entschließen könnten, Alles, was Herr *Mayniel* in seinen Versuchen berichtet, mit blindem Glauben aufzunehmen, so müßten wir doch die Versuche mit gestoßener Erde hiervon ausnehmen.

Der Verfasser nimmt in der Anwendung an, daß die *Cohaesion* den Druck der lockeren Erde nur um $\frac{1}{3}$ vermindere, und glaubt dadurch eine hinlängliche Sicherheit begründet zu haben. Allein er irrt sich, denn bey

kleinen Höhen fallen nach dieser Annahme die Mauerdicken viel zu stark, für große Höhen aber zu schwach aus.

7^{tes}. Herr *Mayniel* hat seine Versuche nur auf Dammerde und Sand ausgedehnt, obwohl er in der Anwendung auch andere Erdgattungen und sogar Mauerschutt und Gerölle aufnimmt, ohne uns jedoch zu sagen, wie er zu den dort aufgeführten Daten gelangt sey.

§. 2.

Versuche, angestellt in Wien im Jahre 1827.

I.

Beschreibung des Apparates zur Erhebung des Druckes der Erde.

Der zur Erhebung des Erddruckes bestimmte *Apparat* kommt in der Hauptsache mit jenem, dessen sich Herr *Mayniel* bediente, überein; nur war man bedacht, denselben so herzustellen, daß er sich selbst durch eine Reihe von Versuchen in keinem Theile verändere, und alle Ausbesserungen gänzlich vermieden würden; auch wurden alle Bestandtheile in Bezug auf ihr Tragvermögen so angeordnet, daß sie dem größten Drucke, den dieser Apparat auszuhalten haben würde, vollkommen widerstehen konnten.

Die Hauptbestandtheile dieses Apparates waren:

Plan 2, Fig. 1 bis 9. A. Der Erdkasten.

B. Der Gewichtskasten, welcher dem Erddrucke zu widerstehen bestimmt war.

C. Die Wagschale, durch welche die Größe des ausgeübten Druckes der Erde gemessen werden konnte.

A. Der Erdkasten bildete ein längliches Parallelepiped, dessen Boden und drey der Seitenwände aus 2zölligen gefalzten Pfosten vom Fichtenholze zusammen gesetzt waren. Seine Länge betrug 9 Fuß, die Breite 3 Fuß, die Höhe 6 Fuß im Lichte gemessen. Hier wie in der Folge, wo es nicht besonders bemerkt ist, wird Wiener Maß und Gewicht verstanden. Der Kasten ruhte auf einem Roste *a* von $\frac{3}{4}$ zölligem Tannenholze,

in dessen Traversinen die $\frac{3}{8}$ zölligen Säulen *b* eingezapft waren, welche die beyden Seitenwände zu stützen hatten, die Säulen *b*, welche die Hinterwand stützten, waren in die Longrinen eingezapft; alle Säulen wurden durch die schiefen Streben *c* in verticaler Stellung fest gehalten. Man benützte diese Streben, um an den beyden Seitenwänden Treppen anzubringen, mittelst welchen man zur Höhe des Kastens gelangen, und die Oberfläche der Anschüttung übersehen konnte; auch dienten diese Treppen, um den Kasten bequem füllen und ausleeren zu können.

Die Pfosten des Bodens waren an die Traversinen des Rostes, die Pfosten der Wände an die Säulen *b*, alle mit versenkten Nagelköpfen fest genagelt.

Die Säulen *b* waren an ihrem oberen Ende mit 6 Zoll langen Zapfen versehen, welche über den Kasten vorragten; diese Einrichtung war aus Vorsicht getroffen worden, um bey einem sehr starken Drucke die Säulen oben mit Querriegeln verbinden, und so das Weichen der Seitenwände gänzlich verhindern zu können. Man war aber nie in dem Falle, diese Vorsicht anwenden zu müssen.

Die vordere Seite des Kastens wurde durch ein Thor *d* geschlossen, dessen Construction aus der Zeichnung ersichtlich ist, es war absichtlich so stark angetragen, damit es selbst durch den stärksten Druck, welcher wahrscheinlicher Weise darauf wirken konnte, nicht gebogen werden, noch viel weniger sich werfen konnte; eine Bedingung, die für die Genauigkeit der Erhebung unerläßlich war.

Dieses Thor bewegte sich um seine unterste und innere Kante in drey starken Thorkegeln, deren Mittelpunkt genau in der Achse der Kreisbewegung des Thores lagen. Die Bänder waren in den Kastenboden und in die innere Thorwand eingelassen, und mittelst Schrauben mit versenkten Schraubenköpfen befestiget.

Anfänglich ließ man das Thor um seine äußere untere Kante sich bewegen; zu welchem Ende der Boden des Kastens um die Dicke des Thores länger war, und die Thorkegeln vorwärts gesetzt waren. Die Absicht dabey war: das Thor sich eben so umstürzen zu machen, wie eine dem Erddrucke weichende Mauer nach der Voraussetzung der Theorie umstürzen soll. Nach den ersten zwey Versuchen wurde jedoch

diese Anordnung so geändert, wie sie oben beschrieben worden ist, weil nur nach dieser der Druck auf die innere Fläche des Thores unmittelbar gefunden, und mit den Resultaten der Theorie verglichen werden konnte.

Um das Thor niederlassen und schliessen zu können, war hinter dem Thore eine Welle mit zwey Rädern, welche sich sämmtlich an einer starken eisernen Achse bewegten, angebracht; an dem Thore selbst befand sich bey $\frac{2}{3}$ der Höhe eine querüber laufende eiserne Schiene mit Schrauben an das Thor befestiget, und an beyden Enden mit Ringen versehen, um die Seile zu beyden Seiten des Kastens mittelst Haken einhängen zu können. Die Seile liefen an jeder Seite über eine metallene Rolle, und dann über die Welle. Damit sich die eiserne Achse der Räder und Wellen nicht biegen könne, war sie in der Mitte ihrer Länge durch einen Reitstock und Scheibe gestützt. Es waren aus dem Grunde zwey Räder angebracht, weil bey Anschüttungen, welche höher als der Kasten gemacht werden sollten, das Seil nicht über die Mitte des Kastens geführt werden konnte, auch war dadurch die Möglichkeit gegeben, mehr Menschen dabey anzustellen, wenn die Last es erforderte, was bey einem einzigen Rade durch einen anderen kostspieligeren Mechanismus hätte bewirkt werden müssen, welcher schon darum eine unnöthige Auslage gewesen wäre, weil die Kraftäusserung immer nur auf kurze Zeit erfordert wurde. Die Stellung der Räder hinter dem Kasten war zweckmässig, weil dadurch die Arbeiter ausser Gefahr waren, wenn bey dem Niederlassen des Thores sich irgend ein Unfall ereignet hätte.

Vor dem Kastenthore befand sich eine 3 Fuß tiefe, 5 Fuß breite und 5 Fuß 10 Zoll lange ausgemauerte Vertiefung, in welcher zu beyden Seiten gemauerte Stufen hinab führten, sie diente dazu, um die Erde ungehindert aus dem Kasten abfallen zu lassen, und dann messen zu können.

Wenn Anschüttungen zu machen waren, welche höher als der Kasten werden sollten; so wurden neben den Säulen *b* noch andere von der verlangten Höhe gestellt, diese letzteren an die Säulen *b* mittelst Klammern und Querriegeln befestiget, und die drey Seitenwände des Kastens aus gefalzten Pfosten höher hergestellt.

Um die Figur des abgefallenen Erd-Prisma's aufnehmen zu können, bediente man sich zweyer Lineale Fig. 9; das eine, 9 Fuß lange, wurde mittelst kleiner Zapfen auf die Oberfläche der einen langen Seite der Kastenwand befestiget; es war in Fuß und Zehnthelle eines Fußes genau eingetheilt; das andere kürzere, nur 3 Fuß 4 Zoll lange, ließ sich längs dem längeren dergestalt verschieben, daß die Richtung auf die Länge des Kastens senkrecht war; es war auf 3 Fuß Länge in Fuß und Zehnthelle so eingetheilt, daß der Nullpunct mit der inneren Fläche der langen Kastenwand überein stimmte; überdiß war dieses Lineal noch mit einem Nonius versehen, welcher Hunderttheile eines Fußes zeigte. Mittelst beyder Lineale war man im Stande, die Abscissen und Ordinaten einer jeden Figur, welche das abgefallene Erd-Prisma auf der Oberfläche der Anschüttung bildete, genau zu messen.

Die verschiedenen Abstufungen, welche sich auf der zurück gebliebenen Erdböschung gebildet hatten, wurden gemessen, indem man ihre verticale Höhe zu beyden Seiten an den Kastenwänden bemerkte und maß; sodann mittelst eines (bey niedergelassenem Thore) vorne querüber gelegten Maßstabes die Abscissen und senkrecht darauf die Ordinaten bestimmte.

Zu beyden Seiten des Erdkastens befanden sich 4 Fuß hohe Verschlüge aus Pfosten, welche den zu den jedesmahligen Versuchen nöthigen Erdvorrath enthielten, welcher nicht nur hinreichte, um den Kasten vollkommen zu füllen, und allenfalls auch eine Ueberhöhung von 4 Fuß Höhe zu bilden, sondern es war überdiß wegen des bey den Versuchen unvermeidlichen Verlustes auf einen bedeutenden Ueberschuß Bedacht genommen worden, um jede Reihe der Versuche mit der nämlichen Erde bewerkstelligen zu können. Weil das Wechseln der, einer Reihe von Versuchen zu unterwerfenden Erde immer einige Modificationen der Erhebungen begründet haben würde; so konnte man nur bey solcher Vorsicht hoffen, die Versuche, in so fern es von diesem Umstande abhängig war, möglichst rein durchzuführen.

Während dem Füllen und Ausleeren des Erdkastens wurde von beyden rechts und links befindlichen Verschlügen, in welchen der Erdvorrath aufbewahrt war, eine Brückung auf den obersten Stufen einer jeden

der langen Seitenwände gelegt, und auf diese zuerst die zur Füllung nöthige Erde aufgehäuft, von dort aber sodann in den Kasten geworfen. Die Arbeit wurde hierdurch ungemein beschleuniget, und das Setzen der lockeren Erde möglichst vermieden; ein Umstand, der zu berücksichtigen war, um den Einfluß der *Cohesion* auf den Erddruck, in so weit es sich erreichen ließ, zu beseitigen.

B. *Der Gewichtskasten* war ein 3 Fuß im Quadrate messender, 1 Fuß im Lichte hoher, oben offener Kasten aus 2zölligen Pfosten; er war bestimmt, Bleygewichte (sogenannte Bleygänse) in einer solchen Zahl aufzunehmen, damit der Kasten durch die Reibung auf seiner Unterlage dem stärksten zu erwartenden Drucke widerstehen konnte. Die Ecken des Kastens waren mit Eisen beschlagen, und die Kanten des Bodens etwas abgerundet, damit sie nicht in die Unterlage einschneiden konnten. Er ruhte auf einer gemauerten gut gegründeten Unterlage, welche oben aus vier großen Quaderstücken bestand; die oberste Bedeckung der Unterlage bestand aus einer aus 2zölligen gehobelten Pfosten von Eichenholz zusammen gesetzten Tafel, welche so gefügt war, daß die Fugen nach der Richtung, nach welcher der Kasten verschoben werden sollte, fortliefen. Zwey starke 4zöllige Einschubleisten, ebenfalls von Eichenholz in die Quader eingelassen, verhinderten das Verschieben und zum Theil auch das Werfen der Tafel; um dieß Letztere ganz zu beseitigen, wurden die Enden der Tafel mittelst eisernen Klammern, welche in den Stein befestiget waren, niedergehalten.

Da man sich vorgesetzt hatte, bey allen Versuchen den Widerstand bey $\frac{1}{3}$ der Höhe des Kastens wirken zu lassen, um bey allen Versuchen, welche mit diesem Apparate vorgenommen werden sollten, für den Widerstand ein und denselben Hebelsarm zu haben; so gab man der Unterlage eine solche Höhe, daß die Mitte der Höhe des Gewichtskastens mit dem dritten Theile der Höhe des Kastenthores in eine horizontale Linie zu liegen kam. In dieser Richtung und Höhe war der Gewichtskasten mit dem beweglichen Kastenthore durch eine 1 Zoll im Querschnitte haltende Eisenstange in Verbindung gesetzt.

Die Fig. 8 zeigt die *Details* dieser Vorrichtung; das Mittelstück *cf* diente dazu, um die Verbindung herstellen oder aufheben zu können,

und mußte an den beyden Zapfen beweglich seyn, um der Kreisbewegung des Thores in dem Augenblicke der erfolgenden Wirkung etwas folgen zu können.

Die an dem Thore und der hinteren und vorderen Wand des Gewichtskastens angebrachten Platten von geschmiedetem Eisen waren stark genug, um nicht gebogen werden zu können, und verhinderten das Eindringen der Stange in das Holzwerk; so wie die Ansätze, mit welchen die Theile der Eisenstange auf die Platten drückten, durch welche sie hindurch gingen, verhinderten, daß sie nicht durchgeschoben werden konnten. An dem hinteren Ende war in die Stange eine Schraube eingeschnitten, an welche eine mit einem Ringe versehene Schraubemutter angeschraubt werden konnte, in welchen das Seil der Wagschale eingehängt wurde.

Weil die Belastung des Gewichtskastens eine Ueberwucht gegen den Erddruck haben mußte, um das Kastenthor nicht früher in Bewegung zu setzen, als bis die Anschüttung vollkommen beendigt war; und man diese Ueberwucht nach vollendeter Anschüttung nach und nach wieder wegnehmen mußte, um auf den Punct zu kommen, wo der Widerstand so eben dem Drucke zu weichen beginnt; so mußte auf eine Vorrichtung gedacht werden, mittelst welcher die anfängliche Belastung in sehr geringer Quantität und ohne Stoß vermindert werden konnte. Herr *Mayniel* bediente sich hierzu des Wassers, welches er aus einer Büchse auslaufen ließ. Bey unseren Versuchen würde man eine zu große *Quantität* Wassers benöthiget haben, und eben dadurch wäre die Manipulation umständlich und schmutzig zugleich geworden. Man wählte daher statt des Wassers Bleyschrote von der kleinsten Gattung (Vogeldunst), welche in einen Kasten *g* *Fig. 6* geschüttet wurden, den man auf zwey Unterlagen auf den Gewichtskasten so aufstellte, daß der Schwerpunkt beyder Kästen in einer verticalen Linie lag, und der Boden des Schrotbehälters eine gegen den Horizont geneigte Lage erhielt. Am Boden dieses Schrotbehälters war eine viereckige Röhre von Eisenblech angebracht, die mittelst eines Schubers nach Belieben geöffnet und geschlossen werden konnte; an das Ende dieser Röhre band man einen Sack an, durch welchen die auslaufenden Schrote, ohne sich zu zer-

streuen, in kleine Gefäße geleitet werden konnten, welche damit eines nach dem anderen angefüllt wurden. Da das Gewicht der Schrote, welche jedes dieser hölzernen Gefäße zu fassen vermochte, früher erhoben, und auf jedem bemerkt worden war; so wufste man auch jedes Mahl, wie viel an Schroten, dem Gewichte nach, abgelassen worden sey.

Die Bleygänse, welche als Gewichte dienten, waren jedes zum Theil genau 100, zum Theil genau 50 Pfund schwer, und wurden auf dieses Gewicht regulirt. Da man an solchen Gewichten 4500 Pfund benötigte, so würde die Anschaffung so vieler cementirter Eisengewichte eine namhafte Auslage verursacht haben, und die Gewichte selbst wären nach beendigten Versuchen größten Theils überflüssig gewesen; das Bley hingegen war auch sodann noch als nothwendiges Materiale verwendbar, es liefs sich ohne viele Mühe auf ein bestimmtes Gewicht bringen, indem man leicht Theile davon trennen oder zugießen konnte, und nahm weniger Raum ein, als das Eisen. Wenn man Steine hätte verwenden wollen, so würden diese einen viel größeren Raum erfordert haben, wären weniger bequem handzuhaben gewesen, und würden, was die Hauptsache ist, nur mit vieler Mühe auf ein bestimmtes Gewicht zu bringen gewesen seyn. Der Umstand aber, daß man bestimmte Gewichte für die Belastung benützen konnte, erleichterte die Arbeit bey den Versuchen ungemein, denn man war dadurch im Stande,

1^{tens}. die Belastung des Gewichtskastens für jeden Versuch mit einiger Verlässigkeit im Voraus zu bestimmen, weil die Reibung des Kastens auf seiner Unterlage, und der Druck der Erde aus dem vorhergegangenen Versuche bekannt waren; man durfte daher nicht fürchten, die Belastung viel zu stark, oder was noch viel schlimmer gewesen seyn würde, zu schwach einzurichten.

2^{tens}. Nach erfolgter Wirkung konnte man aus der Zahl der mit ausgelaufenen Schroten gefüllten Gefäße das Gewicht derselben, und aus der Zahl der in dem Kasten befindlichen Gewichte diejenige Belastung, welche dem Drucke durch die Reibung das Gleichgewicht gehalten hatte, beurtheilen, und weil die Reibung nahe geschätzt werden konnte, so liefs sich auf das Gewicht schließen, welches auf die Wag-

schale gelegt werden mußte, um den Gewichtskasten eben so zu verschieben, wie dieß der Druck der Erde gethan hatte.

Wir werden in der Beschreibung des Vorganges bey den Versuchen sehen, daß diese Einrichtung wesentliche Vorthelle verschaffte.

Der Vorsprung, welchen der unterste Quader der Unterlage gegen den Erdkasten hin bildete, diente für das Thor zum Auflager, wenn es niedergelassen wurde; jedoch war dieß nur bey der ersten Einrichtung der Fall, wo dasselbe sich um die äußere Kante drehte; in der Folge wurde ein Balken quer über die Vertiefung gelegt, wenn man dem Thore ein Auflager verschaffen wollte.

C. Die Einrichtung der Wagschale ist in der Zeichnung deutlich vorgestellt; es muß nur bemerkt werden, daß die Rolle, über welche das Seil lief, durch eine Schraube, die durch den Tragbalken des Bockes ging, so gestellt werden konnte, daß das Seil horizontal gespannt wurde; und daß der Bock durch zwey Streben h gegen den Umsturz gesichert wurde, welcher, wenn eine starke Belastung der Wagschale nothwendig war, hätte erfolgen können.

Die Wagschale senkte sich in eine ausgemauerte Vertiefung ein, in welche gemauerte Stufen hinab führten, um die Gewichte zur Beschwerung bequem auf die Wagschale bringen zu können. Auf den Boden unter die Wagschale wurden jedes Mahl bey dem Gebrauche 5 Zoll hohe Balken gelegt, um die Füße der Arbeiter zu schützen, wenn wider Vermuthen die Ketten gesprungen wären, welche man aus Vorsicht noch mit Stricken umwunden hatte. Außerdem war noch eine große Wage mit den nöthigen Gewichten und mehrere Kubik-Fuß als Maß vorhanden. Alles zusammen stand in einem großen hölzernen Schoppen, welcher mit zwey großen Thören und Fenstern versehen war. Hier wurde auch die zu den Versuchen bestimmte Erde gegen den Einfluß der Witterung geschützt, verwahrt.

Beschreibung des Vorganges bey dem Gebrauche dieses Apparates.

Das erste Geschäft vor jedem Versuche war, alle Theile des Apparates, besonders die Unterlage des Gewichtskastens gut zu reinigen; die Thor-

kegeln und der Zapfen der Rolle wurden, so oft es nöthig war, mit gutem Oehle, die Seile mit Seife geschmiert. Hierauf wurde das Thor an die beyden Seile befestiget; das Mittelstück der Verbindungsstange weggenommen, und das Thor ganz niedergelassen. Man schritt nun zur Erhebung der natürlichen Böschung der Erde. Zu diesem Ende wurde die Erde von den Brückungen zu beyden Seiten mit Schaufeln in den Kasten geworfen, und dabey darauf gesehen, daß diese gestreut, und die Anschüttung lagenweise empor steigend gemacht wurde; sobald die Anschüttung rückwärts die Höhe des Kastens erreicht hatte, und die gebildete Böschung sich gegen den vorderen Rand des Kastens verlief, wurden auf dem oberen Rande der Anschüttung noch einige Schaufeln Erde sachte gelegt, und mittelst einer gehobelten Latte vorwärts gestrichen. War die gebildete Böschung wirklich jene, welche die Theorie für die natürliche, das heißt: für die den Reibungswinkel bestimmende annimmt; so konnte sich die abgestrichene Erde auf der gebildeten Böschung nicht erhalten, sondern gleitete bis zu dem Fuß derselben hinab, ohne eine Veränderung an dieser Böschung dadurch zu bewirken. Mittelst der beyden Lineale wurde sonach die Anlage der so gefundenen Böschung genau gemessen und gezeichnet.

Man erhält nie den wahren Winkel der natürlichen Böschung, wenn man die Erde ohne die beschriebene Vorsicht aufwirft, weil durch den Fall der geworfenen Erde der ruhenden eine Bewegung mitgetheilt wird, durch welche auch solche Erde, welche in Ruhe geblieben wäre, mit abgerissen wird, und die Böschung sich sanfter bildet, als sie nach der Voraussetzung seyn sollte.

Während dieser Erhebung wurden einige Kubik-Fuß Erde gewogen.

Bey den ersten Versuchen bestimmte man die Reibung des Gewichtskastens auf seiner Unterlage durch einen Versuch unmittelbar; berechnete den Druck der Erde auf das Kastenthor nach der Formel des Herrn *Máyniel*, und bestimmte hiernach und aus der gefundenen Reibung die Belastung des Gewichtskastens. Die Ueberwucht wurde in den meisten Fällen zu 500 Pfund angenommen, und in Schroten gegeben; damit man aber auch in dem Falle, wenn der wirkliche Erddruck kleiner als der berechnete ausfiel, die Belastung in kleinen Quantitäten, und ohne einen Stoß bis zu dem Gleichgewichte zu vermindern im Stande sey, wurden von der berechneten Bela-

stung ebenfalls 500 Pfund in Schrotten, und nur der Rest in Bleygewichten gegeben.

Als man sich aber nach mehreren Versuchen überzeugt hatte, daß die Formel des Herrn *Mayniel* den Druck der Erde noch einmahl so groß angebe, als der wirkliche gefunden wurde; so richtete man in der Folge die Belastung immer nach dem in dem vorher gegangenen Versuche gefundenen Druck ein.

Die Bleygewichte wurden in dem Kasten gleichförmig vertheilt. Sobald die Vorbereitungen so weit beendigt waren, wurde das Thor geschlossen, die Verbindungsstange eingelegt und mit den Zapfen befestigt. Damit auch die kleinste Verschiebung des Gewichtskastens bemerkt werden konnte, war die Stellung desselben durch eine längs dem Vorderrande gezogene Bleylinie bezeichnet, auf welche ein an dem Kasten befestigter Zeiger mit seinem zugespitzten Ende genau paßte.

Die Seile, mit welchen das Thor bisher befestigt gewesen war, wurden nun abgenommen, so, daß dasselbe nur durch den Widerstand des Gewichtskastens gestützt war. Hierauf ward die Erde von beyden Seiten so schnell als möglich in den noch anzufüllenden Raum geworfen, und mit Rechen dabey ausgeglichen, um die Anschüttung möglichst gleichförmig herzustellen. Wenn die Höhe des Kastens damit erreicht war, strich man die Erde mit einer gehobelten Latte ab, und befestigte das lange Lineal auf die eine der Seitenwände. Zugleich wurde, sobald die Anschüttung überhaupt die verlangte Höhe erreicht hatte und vollkommen gut ausgeglichen worden war, der Schuber an der Röhre des Schrotbehälters geöffnet, und die ausgelaufenen Schrote in den erwähnten kleinen Gefäßen gesammelt.

Wenn auf diese Art der Widerstand so weit vermindert worden war, daß der Gewichtskasten zu gleiten anfang, wurde der Schuber sogleich geschlossen. Das Thor hatte dann ebenfalls eine kleine Bewegung gemacht, und sich oben etwas geöffnet, und auf der Oberfläche der Anschüttung zeigte sich ein, manchemahl auch mehrere hintereinander befindliche Risse, wenn nämlich die Anschüttung aus Damm- oder Lehmerde oder nassem Sande bestand; bey trockenem Sande und Schotter waren keine Risse bemerkbar.

Die Entfernung dieser Risse von dem vorderen Rande des Kastens, so wie ihre Form, wurden sorgfältig aufgenommen und gezeichnet.

Das Thor wurde dann an die beyden Seile befestiget, die Arbeiter zu den Rädern gestellt, und angewiesen, dasselbe vor der Hand nur zu erhalten, ohne es stärker gegen die Anschüttung zu pressen; hierauf nahm man das Mittelstück der Verbindungsstange hinweg, und liefs das Thor langsam und nur dem Erddrucke nachgebend nieder. Auf diese Art gelang es fast bey allen Versuchen, das Prisma des grössten Druckes, welches sich schon durch einen der entstandenen Risse bemerkbar gemacht hatte, rein abfallen zu lassen. Das niedergelassene Thor wurde von der darauf liegenden Erde gereinigt, und sogleich wieder geschlossen, um zu verhindern, daß keine später nachfallende Erde sich mit der ersteren vermische.

Nun wurde die abgefallene Erde gemessen, und 10 Kubik-Fufs derselben genau gewogen. Wenn dieß geschehen war, öffnete man das Thor neuerdings, um die zurück gebliebene Erde dergestalt abzusteichen, daß kein Nachsturz während der Erhebung mit der Wagschale zu besorgen war; worauf man den Kasten wieder schloß, indem man das Thor mit dem Gewichtskasten in Verbindung brachte, und den letzteren mit jenem zugleich anzog, so, daß es genau wieder in seine erste Lage gebracht wurde. So wie das Thor geschlossen war, wurden die Seile abgenommen.

Die Wagschale wurde sodann an den Gewichtskasten befestiget, und mit Gewichten nach und nach, jedoch so, daß bey dem Auflegen derselben kein Stoß geschah, beschwert.

Wenn die Belastung so weit gediehen war, daß noch ungefähr 100 Pfund fehlten, um den Gewichtskasten gleiten zu machen, (was man, wie oben gezeigt wurde, beurtheilen konnte), so wurde ein kleiner hölzerner Kasten auf die Gewichte gestellt, und dieser langsam mit Schrot so lange gefüllt, bis der Gewichtskasten eben so gleitete, wie früher, als der Erddruck ihn verschoben hatte. Auf diese Art konnte die Erhebung mit der grössten Genauigkeit vollzogen werden.

Das auf der Wagschale befindliche Gewicht sammt dem Gewichte der Wagschale mit Zugehör, hatte die Trägheit des Thores, die Reibung des Gewichtskastens auf seiner Unterlage, und die Reibung an dem Zapfen der Rolle überwunden; der Druck der Erde hingegen hatte die nämliche Trägheit des Thores, die nämliche Reibung des Gewichtskastens auf seiner Unterlage, jedoch nicht die Reibung am Zapfen der Rolle, dafür aber jene

in den Thorkegeln überwunden. Das erhobene Gewicht, welches mit Einschluß des Gewichtes der Wagschale den Gewichtskasten bewegt hatte, gibt daher nicht unmittelbar das Maß des Erddruckes an, wie wir dieß schon früher erinnert haben. Man hat dieses Gewicht in den Versuchen unter der Benennung, erhobene Wirkung auf der Wagschale, aufgeführt.

Bey einigen wenigen Versuchen ereignete es sich, daß der Gewichtskasten anfänglich etwas gleitete, aber sich erst dann weiter bewegte, wenn man die Belastung beträchtlich vermindert hatte. Da die Ursache dieser Erscheinung nur in irgend einem zufällig entstandenen Hindernisse, welches entweder die Reibung des Gewichtskastens oder jene in den Thorkegeln vermehrte, liegen konnte, so ersetzte man in einem solchen Falle die Belastung wieder bis zu der Gröfse, welche sie in dem Augenblicke des ersten Gleitens gehabt hatte, und erhob hiernach das Gewicht auf der Wagschale.

Beschreibung des Apparates zur Erhebung der Reibung der Erde auf Erde.

So lange man durch die Versuche über den Druck der Erde die Ueberzeugung noch nicht erhalten haben konnte, daß die Annahme des Herrn *Prony* mit den Erscheinungen der Natur übereinstimme, bediente man sich des in den *Figuren* 1, 2, 3, 4 vorgestellten Apparates, um die Reibung der Erde auf Erde zu finden. Plan 3, Fig. 1 bis 6.

Derselbe bestand aus einem Tische mit zwey Tischblättern, wovon das eine unbeweglich war, das andere aber an der schmälern Seite mit Charnieren befestiget, sich nach Belieben erheben ließ; beyde Tischblätter hatten gleiche Ausmaßen, und waren 3 Fuß lang, 2 Fuß breit.

Damit bey dem Erheben des einen Tischblattes kein Schwanken Statt finden möge, war an der beweglichen Seite eine Hülse angebracht, welche sich an einem an dem unbeweglichen Tischblatte befestigten eisernen Bogen verschieben ließ; durch eine Stellschraube konnte das erhobene Tischblatt in jeder Lage fest gehalten werden. Zur Erleichterung des Aufhebens waren zwey Handhaben angebracht, auch wurden zwey hölzerne Keile nachgeschoben, um die Erhebung sanft und ohne Stofs zu bewirken.

Auf dem beweglichen Tischblatte war ein aus Bretchen zusammen gesetzter oben offener Kasten *b* befestiget, welcher $1\frac{1}{2}$ Fuß lang, 1 Fuß breit und 2 Zoll hoch war, auf diesen paßte die Grundfläche eines zweyten 6 Zoll hohen Kastens *c*, welcher oben wie unten offen war, und nur aus seinen vier Seitenwänden bestand; die Berührungsflächen beyder Kästen waren abgerundet; der obere Kasten war beweglich, und ließ sich auf dem festen unteren verschieben. Die Oberfläche des Tischblattes bildete eine genaue horizontale Ebene.

Wenn man mit diesem Apparate Versuche anstellen wollte, wurden beyde Kästen, so wie sie aufeinander standen, mit lockerer Erde gefüllt, und nun das bewegliche Tischblatt so lange langsam erhoben, bis der obere Kasten gleitete. Nun wurde das Tischblatt durch die Stellschraube und die untergeschobenen Keile in der erhaltenen Neigung fest gehalten, und durch einen aus der unteren Kante des erhobenen Tischblattes herab gelassenen Senkel, der *Sinus* des Reibungswinkels, auf einem an dem unbeweglichen Tischblatte angebrachten Maßstabe gemessen.

Dieser Apparat war sehr einfach, aber er hatte den Nachtheil, daß man den oberen Erdkörper nicht zu einem fortgesetzten Gleiten auf dem unteren bringen, und daher den wahren Reibungswinkel nicht finden konnte. Denn nach den einigen kleinen ruckweise erfolgenden Bewegungen des oberen Kastens rückte die vordere Wand des oberen schon über die des unteren Kastens vor; die Erde fiel von oben herab, und der Versuch mußte beendigt werden.

Plan 3. Darum veränderte man den Apparat auf die in *Fig. 5* et *6* angezeigte Weise; der obere bewegliche Kasten war hier um 3 Zoll kürzer als der untere feste, und wurde durch ein Gewicht (wozu man Schrote verwendete) horizontal gezogen.

Die Erhebungen mit diesem Apparate, welcher eigentlich zur Erhebung der *Cohaesion* bestimmt gewesen, waren, in so fern sie die Erhebung der Reibung lockerer Erde betrafen, nicht vollkommener als die ersteren. Denn wenn man den beweglichen Kasten in eine fortgesetzte Bewegung bringen wollte, so drückte sich die Erde zusammen, die vorwärts liegende dämmte sich auf, und in jedem Falle mußte nicht nur die Reibung, sondern auch die *Cohaesion* überwunden werden. Anders verhielt es sich, wenn man die

Erde in dem unteren Kasten fest gestossen, und eben so auch den beweglichen Kasten mit fest gestossener Erde füllen, und dann auf den unteren setzen liefs. Man fand dann das Verhältniß der Reibung zum Drucke nahe so, wie es bey dem natürlichen Böschungswinkel sich ergeben mußte.

Da auf diese Art die Reibungsversuche unmittelbar kein Licht verschaffen konnten; so verwendete man alle Aufmerksamkeit auf die Beobachtung der Grundlinie des Prisma's vom größten Drucke, und verglich den durch die Versuche gefundenen Druck mit den *Resultaten* der verschiedenen *Theorien*, um auf diese Art jene zu finden, welche mit den Erscheinungen in der Natur am nächsten übereinstimmt.

Beschreibung des Apparates zur Erhebung der Cohesion fest gestossener Erde.

Die Einrichtung dieses Apparates ist schon aus der Zeichnung klar, Plan 3, Fig. 5, 6. nur muß bemerkt werden, daß man den nämlichen Tisch verwendete, welcher früher zur Erhebung der Reibung gedient hatte.

Der Vorgang bey der Erhebung der *Cohesion* fest gestossener Erde war folgender:

Ein Kubik-Fuß, und wenn es nöthig war, auch deren zwey lockerer Erde wurden zuerst gewogen, und nur diese Erde zu dem Versuche verwendet. Der auf dem Tischblatte befestigte Kasten wurde mit lockerer Erde gefüllt, und diese mit kleinen Stösseln gut gestossen, womit man so lange fortfuhr, bis dieser Kasten eben voll war. Hierauf setzte man den beweglichen Kasten dergestalt auf, daß die Seitenwände desselben genau auf die des unteren paßten. Diejenige bereits fest gestossene Erde, welche in den Raum des oberen Kastens sich befand, wurde an der Oberfläche wieder aufgelockert, damit sich die folgende Anschüttung damit gut verbinden konnte; und nun wurde auch der obere Kasten lagenweise mit lockerer Erde gefüllt, und jede Lage gut gestossen.

Nachdem die Anschüttung auf diese Art bewerkstelliget worden war, beschwerte man die Wagschale so lange mit Gewichten, bis die obere Anschüttung von der unteren dadurch losgerissen wurde. Das verwendete Gewicht (Bleyschrote gegen Ende des Versuches) sammt dem Gewichte der Wagschale hatte die *Cohesion* der Erde und die Reibung auf der abgeris-

senen Fläche überwunden. Der Zapfen der Rolle war bey diesem Apparate in Bezug auf den Durchmesser derselben so klein, daß man die Reibung an demselben vernachlässigen konnte.

Um die *Cohaesion* rein zu finden, mußte die Reibung auf der abgerissenen Fläche erhoben werden. Zu diesem Ende wurde der obere Kasten in seine erste Lage zurück geschoben, und die geleerte Wagschale neuerdings mit Gewichten beschwert, bis der Kasten in eine fortgesetzte Bewegung gebracht wurde, und daher die Reibung überwunden war. Das zuletzt gefundene Gewicht von dem ersteren abgezogen, gab die *Cohaesion* der Erde auf der Grundfläche des beweglichen Kastens, und konnte auf die Einheit der Fläche berechnet werden. Man erhob sodann das Gewicht der in dem beweglichen Kasten enthaltenen fest gestossenen Erde, berechnete aus dem gefundenen Gewichte jenes für die Einheit des Körpers, und fand aus dem Vergleiche der Gewichte im lockeren und gestossenen Zustande die *Verdichtung*, welche die Erde durch das Stoßen erhalten hatte, bey welcher ihr die erhobene *Cohaesion* zukam.

Versuche über die *Cohaesion* der gestossenen Erde, so wie sie Herr *Français* vorschlägt, nämlich: wenn man gestossene Anschüttungen von verschiedenen Höhen hätte herstellen wollen, um die größte Höhe zu finden, bey welcher sich dieselbe vertical abstecken lasse, ohne zu fallen, würden unfehlbar viele Mühe und Zeit zur Ausführung erfordert haben; denn unsere Erde war im Stande, sich auf 10 bis 13 Fuß vertical zu erhalten, ohne zu fallen; und während der Zeit der Ausführung so großer Versuche hätten leicht Umstände eintreten können, durch welche die Versuche entweder ganz gestört, oder die Erhebungen zweifelhaft hätten gemacht werden können.

Dagegen waren die in dem eben beschriebenen Apparate vorgenommenen Versuche leicht und schnell auszuführen, und hatten noch den Vortheil für sich, daß sie zugleich die durch das Stoßen bewirkte Verdichtung angaben, bey welcher die Erde die gefundene *Cohaesion* gehabt hatte.

Versuche im Großen unternommen haben gezeigt, daß die auf die angezeigte Art gemachten Erhebungen sich als vollkommen richtig bewährten; was aber nur aus dem Grunde mit solcher Uebereinstimmung geschehen konnte, weil man Sorge getragen hatte, der im Großen ausgeführten

Anschüttung in jeder Lage die nähmliche Verdichtung zu verschaffen, welche die nähmliche Erde bey dem Versuche erhalten hatte.

Beschreibung der Versuche.

Die Mängel, welche bey den früher unternommenen und bekannt gewordenen Versuchen (§. 1) wahrgenommen werden können, lassen sich auf folgende zurück führen:

1^{ens}. Waren sie größten Theils so im Kleinen unternommen worden, daß sie mehr für Spielwerke angesehen werden müssen, als für Erhebungen, welche dem ausführenden Baumeister hätten Zuversicht einflößen können. Herrn *Mayniels* Versuche wären zwar die größten und zahlreichsten gewesen, wenn sie nur auch von den Mängeln frey geblieben wären, welche wir schon erörtert haben.

2^{ens}. Der größte Theil der wirklich mit Erde vorgenommenen Versuche beschränkt sich fast immer nur auf eine einzige Erdart, den Sand. Gerade diese Erdart enthält nicht alle Elemente, welche auf die Gröfse des Druckes einwirken, in einem hervor stechenden Grade; denn sie hat im sehr trockenen Zustande, in welchem sie den Versuchen meistens unterworfen worden ist, nur eine geringe *Cohaesion*, die schwer zu erheben ist, doch aber den Druck der Erde dergestalt modificirt, daß, wenn man auf dieselbe keine Rücksicht nehmen wollte, die gefundenen Resultate nie vollkommen mit der Theorie übereinstimmen können. Versuche aber sollten wenigstens in keiner anderen Absicht unternommen werden, als um den wahren Werth aller jener Elemente kennen zu lernen, welche die Theorie als einwirkend auf die Erscheinungen voraus setzt; und in dieser Beziehung scheint es, daß, wenn man sich nur auf eine Erdart beschränken wollte, man hierzu eine solche wählen müßte, bey welcher sich alle diese Elemente vollkommen bemerklich machen.

3^{ens}. Bey allen früheren Versuchen ist auf den verschiedenen Grad von Feuchtigkeit, in welchem sich die Erden befinden können, durchaus keine Rücksicht genommen worden. Durch die verschiedene Menge von Feuchtigkeit, welche die Erdarten in sich aufnehmen und zu binden vermögen, werden aber das specifische Gewicht, die Reibung und die *Cohaesion* in ein und derselben Erdart verschiedentlich geändert, und daher, weil alle auf

den Druck Einfluß nehmenden Elemente sich verändern, auch verschiedenartige Wirkungen hervor gebracht, welche zu kennen von Wichtigkeit ist.

4^{tes}. Die Reibung der Erde auf Erde wurde in den früheren Versuchen nach irrigen Principien erhoben.

5^{tes}. Die *Cohaesion* der lockeren Erde wird von allen Schriftstellern als gar nicht vorhanden, und jene, welche manche Erdarten durch Feststoßen anzunehmen fähig sind, wird von den meisten als so unbedeutend, und dabey als so unzuverlässig ausgegeben, daß sie bey der Ausführung dieselbe, der Sicherheit wegen, zu vernachlässigen vorschlagen. Herrn *Mayniels* Bestimmung der GröÙe der *Cohaesion* fest gestossener Erde ist für die Anwendung unbrauchbar.

Da man sich bey den hier vorzunehmenden Versuchen den Zweck gesetzt hatte, alle Elemente, welche auf den Druck der Erde einwirken, genau kennen zu lernen; so war man vor allem darauf bedacht, den Apparat, mit welchem der Druck der Erde erhoben werden sollte, so groß zu machen, wie bisher noch keiner zu solchen Erhebungen verwendet worden war. Wirklich hätte derselbe auch nicht mehr größer gemacht werden dürfen, wenn man im Stande seyn wollte, der Wirkung dergestalt Meister zu bleiben, um genaue und verlässige Resultate zu erhalten. Die Apparate zur Erhebung der Reibung und der *Cohaesion* fest gestossener Erde waren beyde in dem Principe richtig, und für letzteren haben die Erfolge dessen vollkommene Zweckmäßigkeit dargethan.

Die Versuche wurden auf mehrere Erdarten ausgedehnt; man wählte hierzu

- a) die Dammerde;
- b) Sand;
- c) reinen gelben Lehm;
- d) Schotter.

Bey den Ausführungen im Großen wird zwar nur selten eine dieser Erdarten ausschließlich vorkommen, man wird jedoch bey den vorfindigen Mischungsverhältnissen die Wirkung, nach den Resultaten unserer Versuche, um so mehr mit Verlässlichkeit zu schätzen im Stande seyn, da die Wirkungen aller dieser Erdarten in verschiedenem Zustande von Feuchtigkeit beobachtet worden sind.

Man hat nämlich jede dieser Erdarten (den Schotter ausgenommen) in dem möglichst trockenen, dann natürlich feuchten, und endlich mit Wasser gesättigten Zustande den Versuchen unterworfen, und auf diese Art die beyden Extreme und das Mittel untersucht.

Von jeder Art dieser Versuche wurden mehrere unternommen, um die Erhebungen gegenseitig zu controlliren, und bey unvermeidlichen Abweichungen der Resultate einen Durchschnitt nehmen zu können. Die Resultate eines jeden Versuches wurden sogleich gezeichnet, und der ganze Vorgang mit allen Umständen getreu beschrieben.

Diese Beschreibung und Darstellung aller unserer Versuche folgt hier, so wie sie zur Zeit der Beobachtung niedergeschrieben worden ist; und wir haben hiervon nicht einmahl jene darin ausgedrückten Meinungen weggelassen, welche sich uns damahls aufdrängten, obwohl sie in der Folge sich selbst berichtigt haben. Nur die Reihenfolge der Versuche haben wir geglaubt in der Beziehung ändern zu müssen, daß wir abweichend von der chronologischen Ordnung sie so zusammen gestellt haben, wie sie zusammen gehören, und wie sie hätten vorgenommen werden müssen, wenn man zu Anfang des Unternehmens das Ganze so richtig hätte übersehen können, als im Fortgange desselben.

Der Umstand, daß mehrere Versuche erst später nachgetragen wurden, hat jedoch auf die Richtigkeit der Erhebungen keinen nachtheiligen Einfluß genommen, denn man hatte die Vorsicht beobachtet, alle die Erde, mit welcher schon Versuche gemacht worden waren, unter Dach aufzubewahren. Die Wiederholung nöthig befundener Versuche konnte daher ganz mit derselben Erde geschehen, und die späteren Versuche waren mit den früheren vollkommen vergleichbar.

Nebst dem Drucke der Erde war es auch nöthig, den Widerstand der Mauer practisch kennen zu lernen. Dasjenige, was die Theorie hierüber voraus setzt, bedurfte nur in Bezug auf den Umsturz einer practischen Bestätigung; denn es konnte der Zweifel aufgeworfen werden, ob die Mauer sich nicht, ehe sie fällt, an einer Stelle ausbauche.

Man hat hierüber zwey große Versuche mit Mauern von 18 Fuß Höhe unternommen, welche zugleich zeigen sollten, in wie fern die mittelst des Apparates gemachten Erhebungen sich im Großen bewährten, und daher

für die Anwendung benützt werden könnten. Die Futtermauern dieser Versuche wurden auf beyden Seiten vertical aufgeführt, weil bey dieser Form eine Ausbauchung eher als bey jeder anderen möglich gewesen wäre; sie wurden ohne Mörtel aufgeführt, um den Versuch in jeder Beziehung möglichst rein und frey von Elementen darzustellen, deren Wirkungen noch nicht gehörig bekannt sind.

Die sämtlichen Versuche zerfallen demnach in folgende Reihen und Unterabtheilungen, nämlich:

1^{te} Reihenfolge. *Dammerde*.

A. Lockere Dammerde.

1^{tens}. Erhebung des Druckes, wenn die Anschüttung mit dem Hindernisse gleich hoch ist, und zwar:

a) Wenn die Erde natürlich feucht ist. 1^{ter} und 2^{ter} Versuch.

b) Im staubtrockenen Zustande. Vom 3^{ten} bis zum 16^{ten} Versuch.

c) In einem mit Wasser gesättigten Zustande. 24^{ter} und 25^{ter} Versuch.

2^{tens}. Erhebung der natürlichen Böschung der natürlich feuchten und staubtrockenen Dammerde, nebst den Resultaten der Versuche über die Reibung der Erde auf Erde.

3^{tens}. Erhebung der *Cohaesion* lockerer natürlich feuchter, staubtrockener und mit Wasser gesättigter Dammerde. Der 42^{te}, 43^{te} und 44^{te} Versuch.

4^{tens}. Erhebung des Druckes lockerer Dammerde, wenn die Anschüttung höher ist, als das Hinderniß (überhöhende Anschüttung).

a) Im staubtrockenen Zustande. Die Versuche 17, 18, 19, 20.

b) Im natürlich feuchten Zustande. Die Versuche 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57.

5^{tens}. Widerstand trockener Ziegelmauern gegen den Druck lockerer Dammerde im staubtrockenen und natürlich feuchten Zustande. Der 21^{te} und 23^{te} Versuch.

B. Fest gestossene Dammerde.

a) Staubtrocken.

1^{tens}. Erhebung des Druckes, wenn die Anschüttung mit dem Hindernisse gleich hoch ist. 22^{ter} Versuch.

2^{tens}. Erhebung der *Cohaesion* fest gestossener staubtrockener Dammerde. 26^{ter} Versuch.

b) Erhebung der *Cohaesion* natürlich feuchter, fest gestossener Dammerde, und Widerstand einer trockenen Ziegelmauer gegen eine gleich hohe Anschüttung dieser Art. Der 49^{te} Versuch.

II^{te} Reihenfolge. Sand.

1^{tens}. Natürlich feuchter Sand. Die Versuche 27, 28, 35, 36.

2^{tens}. Mit Wasser gesättigter Sand. Der Versuch 37.

3^{tens}. Vollkommen trockener Sand. Die Versuche 38, 39, 40, 41.

Die Erhebungen über die natürliche Böschung, das Gewicht und die *Cohaesion* wurden zugleich mit den Erhebungen über den Druck vorgenommen.

Mit überhöhenden Anschüttungen wurden keine Versuche mehr gemacht, weil Alles, was hierüber zu erfahren nöthig war, schon bey der Dammerde erhoben worden ist. Eben so wenig wurde ein Versuch mit fest gestossenem Sande gemacht, welcher auch unnütz gewesen seyn würde.

III^{te} Reihenfolge. Reiner gelber Lehm.

1^{tens}. Erhebung des Druckes einer lockeren vollkommenen trockenen Anschüttung, welche mit dem Hindernisse gleich hoch ist. Die Versuche 29, 30.

2^{tens}. Erhebung des Druckes einer lockeren natürlich feuchten Anschüttung, welche mit dem Hindernisse gleich hoch ist. Die Versuche 31, 32, 33.

3^{tens}. Erhebung des Druckes des mit Wasser gesättigten Lehms, wenn die Anschüttung mit dem Hindernisse gleich hoch ist. 34^{ter} Versuch.

Die Erhebungen der natürlichen Böschung, des Gewichtes und der *Cohaesion*, sowohl der lockeren als fest gestossenen Erde dieser Art,

und zwar letztere für den vollkommen trockenen und natürlich feuchten Lehm, wurden mit obigen Versuchen zugleich vorgenommen.

IV^{te} Reihenfolge. Schotter.

Da eine Futtermauer, welche eine bloß aus Schotter bestehende Anschüttung zu halten hat, mit Wasserabzügen versehen werden muß; so wurde bey dieser Erdart bloß der Druck beobachtet, welchen eine mit dem Hindernisse gleich hohe lockere Anschüttung in dem natürlich feuchten Zustande ausübt, auch wurde die *Cohaesion* im lockeren Zustande erhoben.

V^{tes}. Anwendung der Resultate dieser Versuche bey der Herstellung eines Theiles der *Schotten-Bastion* in *Wien* im Jahre 1827.

Am 3^{ten} April 1827.

Als Vorbereitung zu den vorzunehmenden Versuchen wurden an diesem Tage mehrere Kubik-Fuß der schon vorbereiteten Dammerde gewogen, um hiernach den Erddruck gegen die bewegliche Kastenwand nach *Mayniel* zu bestimmen.

Die Erde war aus dem Graben zunächst der linken Schulter der *Schotten-Bastion*, in den ersten Tagen des Monathes *März* gleich nach einem starken Thauwetter, gegraben worden, und ward in sehr feuchtem Zustande unter Dach gebracht. Den ganzen Monath *März* hindurch ließ man selbe, so oft als es die Witterung erlaubte ins Freye bringen, und daselbst nur 3" hoch aufschütten, um sie der Einwirkung der Luft möglichst auszusetzen; außer dem wurde sie täglich wenigstens einmahl in der Hütte umgeschaufelt, und einem starken Luftzuge ausgesetzt, auch wurde sie mehrmahl durch ein Drahtgitter geworfen. Auf diese Art war sie nicht nur möglichst rein, sondern auch in einen solchen Zustand von Trockenheit gebracht, wie die Erde gewöhnlich in der trockenen Jahreszeit, wenn sie frisch gegraben wird, sich befindet. Um ein sinnliches Merkzeichen über den Grad der Austrocknung anzugeben, muß bemerkt werden, daß die Erde in der Hand sich nicht vollkommen zu Knollen zusammen ballen ließ. Man wollte sie nun nicht weiter mehr austrocknen lassen, weil es nicht angemessen

schien, Versuche mit einer künstlich getrockneten Erde vorzunehmen, welche in der Ausübung nie anzutreffen wäre.

Die Gewichtserhebung gab folgende Resultate:

N ^{ro} .	1.	Ein Kubik-Fuß hat gewogen	69 $\frac{3}{4}$	Pfund W. M.
„	2.	„ „ „ „ „ „	67	„ „ „
„	3.	„ „ „ „ „ „	67 $\frac{1}{4}$	„ „ „
„	4.	„ „ „ „ „ „	65 $\frac{3}{4}$	„ „ „
„	5.	„ „ „ „ „ „	64 $\frac{3}{4}$	„ „ „
„	6.	„ „ „ „ „ „	66 $\frac{1}{4}$	„ „ „
„	7.	„ „ „ „ „ „	68 $\frac{3}{4}$	„ „ „
„	8.	„ „ „ „ „ „	67 $\frac{3}{4}$	„ „ „
„	9.	„ „ „ „ „ „	67 $\frac{1}{4}$	„ „ „
„	10.	„ „ „ „ „ „	66 $\frac{3}{4}$	„ „ „

Zusammen 670 Pfund W. M.

Ein Kubik-Fuß wiegt daher im Durchschnitte 67 Pfund.

Erste Reihe der Versuche.

A. Lockere Dammerde.

1^{ens}. Erhebung des Druckes, wenn die Anschüttung mit dem Hindernisse gleich hoch ist.

a) Im natürlich feuchten Zustande.

Erster Versuch am 4^{ten} April.

So wie es in der Beschreibung des bey den gegenwärtigen Versuchen Plan 4. zu beobachtenden Vorganges bestimmt worden war, hatte man den Erd-
druck gegen die bewegliche Kastenwand nach *Mayniel* berechnet, und hier-
nach die Belastung des Gewichtskastens, mit Berücksichtigung auf die schon
früher erhobene Reibung des Gewichtskastens auf seiner Unterlage und
der Trägheit der beweglichen Kastenwand, eingerichtet.

Weil nach *Mayniel* der Druck der Erde gegen eine verticale Wand,
wenn die Erde lockere Dammerde ist, durch $d h^2$ (0,191) ausgedrückt wird,
wo d das Gleichgewicht eines Kubik-Fusses Erde, und h die Höhe der An-
schüttung bedeutet; so fand man für den vorliegenden Fall diesen Druck
= 1400 Pfund.

Die Belastung des Gewichtskastens mußte daher so groß angenommen werden, damit die Reibung sammt der Trägheit des Thores obige 1400 Pfund betrage.

Die Reibung des Gewichtskastens auf seiner Unterlage beträgt nach einer vorhergegangenen Erhebung 0,66 des Druckes, die Trägheit des Thores aber 214 Pfund. Hiernach ergibt sich die Belastung des Gewichtskastens mit 1907 Pfund. Hierzu fügte man noch eine Ueberwucht von 300 Pfund Reibung, oder eine Belastung von 454 Pfund, und richtete daher die ganze Belastung des Gewichtskastens folgender Massen ein:

1450 Pfund an Gewichten,

900 „ „ Bleyschroten.

2350 Pfund.

Nachdem diese Vorbereitungen getroffen waren, wurde der Erdkasten so schnell als möglich mit Erde gefüllt; die Füllung dauerte 2 Stunden.

Der Schuber an dem mit Bleyschroten gefüllten Kasten wurde hierauf geöffnet, und man ließ nach und nach alle 900 Pfund auslaufen, ohne daß das Thor des Erdkastens die geringste Bewegung gemacht hätte. Man war daher genöthiget, die in dem Gewichtskasten befindlichen Gewichte gegen Schrote auszuwechseln, und mußte dieß so lange fortsetzen, bis nicht nur der Gewichtskasten, sondern auch der Schrotkasten ganz leer waren.

Jetzt erfolgte eine langsame Bewegung des Thores, der Gewichtskasten wurde etwa um eine halbe Linie zurück geschoben, und die Erde rieselte etwas an den beyden Seiten des Thores durch die entstandene Oeffnung heraus. Auf der Oberfläche des Erdkastens bemerkte man, daß die ganze Erdmasse sich während der Manipulation mit den Gewichten, also in 2 Stunden um 0',08 gleichförmig gesetzt habe; eine stärkere gegen das Kastenthor etwas abhängige Setzung war am vorderen Ende zu bemerken, welche sich mit einem starken Risse quer über die Breite der Anschüttung endigte. Dieser Riss war an beyden Seiten von der inneren Seite des geschlossenen Thores 2',66, in der Mitte aber, wo er einen Vorsprung bildete, nur 2',57 entfernt.

Man ließ nun das Thor sehr langsam nieder, bis es horizontal auflag; während das abgelöste Erd-Prisma langsam abrollte, zeigte sich rückwärts noch ein zweyter schwacher Riss, welcher an den beyden Seitenflächen

des Erdkastens 3',25 von der inneren Seite des Thores entfernt war, und in gerader Richtung quer durchlief.

Am Fusse des abgerollten Prisma's erhielt sich die Erde zum Theil in verticaler Lage, und zwar an den beyden Seitenwänden 2',5 hoch; in der Mitte war bey 2',5 Höhe die Einbauchung 1',0, und bey 1',22 Höhe die Einbauchung 0',33; von hier verlief sich die Böschung auf den Fuß der inneren Thorwand. Die Böschung bildete daher im Ganzen eine Art Mulde, ganz so, wie sie auch *Mayniel*, jedoch nur bey fest gestampfter Erde, beobachtet hat.

Die nämliche Bewegung des Thores wurde hervor gebracht durch

das Gewicht der Wagschale = 116 Pfund,

mehr = 68 „

Zusammen . . . 184 Pfund.

Anmerkung. Gewicht der Wagschale = 110 Pfund.

Gewicht der Haken sammt Strick $12\frac{1}{2}$ Pfund, wovon

jedoch, da diese Last auf der Rolle aufliegt, nur

die Hälfte gerechnet wird, mit 6 „

Ganzes Gewicht der Wagschale . . . 116 Pfund.

Die herab gerollte Erde betrug 23,75 Kubik-Fuß,
und da 1 Kubik-Fuß 67 Pfund wiegt, war das Ge-
wicht dieses Erdkörpers 1591,25 Pfund.

Mithin war die Wirkung der $8,648^{\text{te}}$ Theil von dem Gewichte des drückenden Erdkörpers.

Die Erscheinungen dieses Versuches beweisen, wie groß die *Cohaesion* dieser noch etwas feuchten Dammerde war, welche vielleicht noch durch den Umstand vermehrt wurde, daß in derselben die *vegetabilische* Erde mit überwiegendem Lehm gemengt, und daher sehr fett ist.

Es war daher unerläßlich, die Fortsetzung der Versuche so lange zu verschieben, bis die Erde mehr getrocknet seyn würde; und da die Witterung schon günstiger zu werden anfang, und man sie öfter im Freyen in dünnen Lagen ausbreiten konnte; so hoffte man, daß dieß bald erfolgen werde.

Zweyter Versuch am 11^{ten} April.

Plan 4. Die Erde war vom 5^{ten} an unter freyem Himmel der Sonne und dem Wind ausgesetzt, und war nun vollständig ausgetrocknet. Sie wurde am 9^{ten} gewogen.

1.	Ein Kubik-Fuß hat gewogen	73 $\frac{1}{4}$	Pfund.
2.	» » » » »	78 $\frac{2}{4}$	»
3.	» » » » »	79 $\frac{3}{4}$	»
4.	» » » » »	77	»
5.	» » » » »	78	»
6.	» » » » »	77 $\frac{3}{4}$	»
7.	» » » » »	78 $\frac{1}{4}$	»
8.	» » » » »	77	»
9.	» » » » »	74 $\frac{3}{4}$	»
10.	» » » » »	78 $\frac{2}{4}$	»

Zusammen . . . 773 Pfund.

Im Durchschnitte wiegt daher ein Kubik-Fuß = 77,3 Pfund.

Der Kasten wurde mit Erde gefüllt wie das erste Mahl; die Belastung des Gewichtskastens mit Einschluß der Schrote betrug 2700 Pfund.

Die Schrote, 900 Pfund, ließ man alle auslaufen, und verminderte die Belastung nach und nach, indem man immer zuerst Schrote einfüllte, und dann erst Bleygewichte wegnahm.

Als endlich eine Bewegung der Kastenwand erfolgte, wurde der Gewichtskasten um 1 Zoll zurück geschoben.

Die Bruchlinie zeigte sich in diesem Momente auf 2',25 Entfernung von der inneren Wand des Kastenthores, und bildete einen starken steil abgedachten Riß.

Als das Thor langsam niedergelassen wurde, rollte die Erde langsam nach, und die Bruchlinie bildete sich auf 4',12 Entfernung von der inneren Seite des Kastenthores, die ganze Abdachung war fast eben, nur in der Mitte ein kleiner Höcker zu bemerken, der bey 1',6 Höhe vom Boden am meisten vorsprang, und dort einen kleinen steilen Rand bildete. An den Seitenwänden war keine *Adhaesion* zu bemerken, im Gegentheile gestaltete

sich längs denselben zu beyden Seiten ein tiefer Einschnitt, aus welchem die Erde immerfort herab rieselte.

Die herab gerollte Erde wurde gemessen, sie betrug 38 Kubik-Fuß. Das Prisma berechnet, gibt nur 37,08 Kubik-Fuß, ein Kubik-Fuß muß demnach aus den beyderseitigen Einschnitten nachgefallen seyn, und da dieser zu dem Drucke nichts beygetragen haben kann; so wäre die drückende Erdmasse zu 37 Kubik-Fuß anzunehmen, deren Gewicht 2850,1 Pfund beträgt, da ein Kubik-Fuß 77,3 Pfund wiegt. Um das Messen der herab gerollten Erde in Zukunft zu beschleunigen, wurde die Vertiefung vor dem Erdkasten bis auf die Höhe des 1^{ten} Staffels mit Erde gefüllt, gut ausgeglichen, und dann genau gemessen; dieser Raum enthielt $19\frac{1}{2}$ Kubik-Fuß.

Das auf der Wagschale erhobene Gewicht war 317 Pfund. Während man mit dem Abmessen der Erde und der Erhebung der Wirkung beschäftigt war, rollte noch ein Mahl Erde ab, sie suchte ihre natürliche Böschung einzunehmen. Nun wurde eine gut abgehobelte Tafel genau in die Neigung gestellt, welche die schiefe Seite des Prisma's vom größten Drucke angenommen hatte, und nicht nur hinter derselben die vorhandenen Höhlungen ausgefüllt, sondern auch der leere Raum des abgefallenen Prisma wieder mit Erde voll gefüllt.

Die Belastung des Gewichtskastens war vermehrt worden. Die Wirkung der Erde gegen die Kastenwand wurde nun mit 470 Pfund auf der Wagschale gefunden, doch war diese Erhebung nicht ganz genau, weil der Strick, an welchen die Wagschale hing, sich verlängerte, und ohne daß es bemerkt worden wäre, die Wagschale auf den Boden aufstand; als sie gehoben wurde, gleitete der Gewichtskasten augenblicklich. Es wäre daher möglich, daß schon etwas zu viel Gewichte aufgelegt worden wären.

Der Unterschied der Wirkungen, wenn Erde sich auf Erde reibt, und wenn Erde sich auf Holz reibt, betrug somit 153 Pfund.

Anmerkung. Nach der ersten Einrichtung des Erdkastens drehte sich das Thor in Angeln um seine äußere unterste Kante gerade so, wie eine umstürzende Mauer. Allein, da bey dem Umsturze des Thores die unterste innere Kante desselben sich aufwärts hebt, und daher die aufliegende Erde gleichfalls heben muß, dieß aber nicht geschieht, wenn man

die Wirkung des Erddruckes durch auf die Wagschale gelegte Gewichte erheben will; so waren diese Erhebungen in den beyden vorhergegangenen Versuchen nicht genau.

Man liefs daher das Kastenthor so ändern, dafs es sich um seine innere unterste Kante drehen mußte, und beschlofs, sobald diese Aenderung vollzogen seyn würde, die Versuche von vorne anzufangen.

b) In staubtrockenem Zustande.

Dritter Versuch am 14^{ten} April.

Plan 4. Nachdem die angezeigte Aenderung am Kasten bewerkstelliget worden war, wurde der Erdkasten mit Erde gefüllt. Die Belastung des Gewichtskastens wurde nach dem vorhergegangenen Versuche bestimmt, wobey man jedoch auf das *Prisma* Rücksicht nahm, welches nach der früheren Einrichtung von dem Thore gehoben werden mußte, wenn der Gewichtskasten um 1 Zoll verschoben ward. Die Rechnung gab die Wirkung, welche bey der neueren Einrichtung erfolgen sollte, zu 547 Pfund an; und wenn man die Reibung des Gewichtskastens, so wie sie gefunden worden war, zu 0,66 annimmt, mußte die Belastung für den Stand des Gleichgewichtes 829 Pfund betragen. Man fügte noch 400 Pfund Ueberwucht hinzu, dennoch wurde der Kasten verschoben, als man die Seile lüftete. Die Ursache dieser auffallenden Erscheinung war, dafs die Arbeiter während der Umänderung des Apparates die Unterlage des Gewichtskastens mit Bimsstein poliert hatten, in der Meinung, etwas recht Vortheilhaftes gethan zu haben; die auf diese Art sehr verminderte Reibung erforderte nunmehr eine starke Vermehrung der Belastung, welche nur eine unnütze Mühe veranlafste. Das Thor wurde mittelst der Seile vollkommen geschlossen und so erhalten, bis die Belastung auf 1900 Pfund vermehrt worden war, worauf man die Seile abnahm, und Schrote auslaufen liefs.

Der Gewichtskasten wurde um 2 Linien verschoben, als die Belastung auf 1300 Pfund vermindert worden war.

Die Bruchlinie bildete sich in einer Entfernung von der inneren Wand des Thores von 2', 32.

Hier rifs die Erde steil ab, und erst, als das Thor ungefähr um $\frac{1}{3}$ der Höhe langsam niedergelassen worden war, bildeten sich nach einander mehr rückwärts neue Bruchlinien, deren Entfernungen von dem inneren

Rande des Thores, so wie überhaupt die Gestalt des Bruches, wie sich derselbe, bis das Thor ganz niedergelassen worden war, gebildet hatte, in dem *Plane 4* vorgestellt sind.

Die abgerollte Erde wurde ganz gemessen, und 10 Kubik-Fuß derselben gewogen.

N^{ro}. 1. Ein Kubik-Fuß hat gewogen $78\frac{3}{4}$ Pfund.

„ 2. „ „ „ „ „ $78\frac{1}{4}$ „

„ 3. „ „ „ „ „ $79\frac{2}{4}$ „

„ 4. „ „ „ „ „ $79\frac{3}{4}$ „

„ 5. „ „ „ „ „ $79\frac{1}{4}$ „

„ 6. „ „ „ „ „ $78\frac{2}{4}$ „

„ 7. „ „ „ „ „ $80\frac{1}{4}$ „

„ 8. „ „ „ „ „ 81 „

„ 9. „ „ „ „ „ $80\frac{3}{4}$ „

„ 10. „ „ „ „ „ 80 „

Zusammen 796 Pfund.

Sie betrug $36\frac{1}{2}$ Kubik-Fuß, wovon 1 Kubik-Fuß im Durchschnitte wiegt 79,6 Pfund.

Das Gewicht der abgerollten Erde betrug daher 2905,4 Pfund.

Die Wirkung wurde auf der Wagschale erhoben mit 544 Pfund.

Da die Belastung 1300 Pfund betrug; so zeigte sich, daß die Reibung durch das Polieren statt 0,66 nur 0,418 war. Die erhobene Wirkung stimmte mit der vorläufig berechneten vollkommen überein.

Anmerkung. Bey den bisher unternommenen Versuchen hatte man bemerkt, daß die vorhandene natürliche Dammerde desto schwerer werde, je trockener sie wird, und daß sie, obwohl bereits staubtrocken, doch noch eine ungemein starke *Cohaesion* zeige. Diese *Cohaesion* ist zwar offenbar eine Folge der natürlichen Beschaffenheit der den Versuchen unterworfenen Erdgattung; da aber dabey doch der Zweifel aufgeworfen werden könnte, ob nicht die gepresste Lage derselben in einem engen Kasten die *Cohaesion* vermehre; so beschloß man, zwey kleine Kästen aus Pfosten verfertigen zu lassen, wovon der eine 4',5 breit, 3' hoch und 6' lang, der andere bey gleicher Höhe und Länge nur 1',5 breit ist; beyde Kästen erhalten bewegliche Thüren an der schma-

len Seite, welche gestützt werden, und wenn die Füllung mit Erde geschehen ist, langsam geöffnet werden können. Es sollte dann untersucht werden, ob die erste Bruchlinie, welche bey dem grossen Kasten sich bey 2',32 bildete, in beyden Kästen auf eine gleiche Art, oder wie sie sich gestalte. Wenn die Breite des Kastens auf die Grösse des Prisma's vom grössten Drucke keinen Einfluß äussert; so müßte sich diese Bruchlinie in beyden kleinen Kästen in einer gleichen Entfernung von der inneren Seite der Thüre zeigen.

Vierter Versuch am 17^{ten} April:

Plan 4. Der Erdkasten wurde auf die ganze Höhe gefüllt, der Gewichtskasten war mit 1000 Pfund an Gewichten,

930 „ „ Schrotten,

1930 Pfund gefüllt.

Als die Belastung bis auf 1490 Pfund vermindert worden war, erfolgte die Wirkung des Erddruckes.

Das Kastenthor öffnete sich oben um 2 Zoll, der Gewichtskasten wurde um $\frac{1}{2}$ Zoll verschoben, in demselben Augenblicke zeigte sich die Bruchlinie deutlich und stark bey 2',975, und erhielt sich selbst noch, während das Thor niedergelassen wurde; erst als dieß bis auf die Hälfte geschehen war, löste sich die Erde bis auf 3',7 ab, und zwar in ganz gerader Richtung ohne Zacken und Vorsprünge. Die Abdachung verlief sich, eine Ebene bildend, gegen den Fuß des Thores, und erhielt sich noch einige Zeit, als dasselbe schon ganz herab gelassen war. Später rollte noch Erde nach, und zwar bis auf 4',45 an der einen, und 4',56 an der anderen Seitenwand mit einer Vertiefung, welche bey 0',9 nach der Breite des Kastens gemessen, 4',77 von der inneren Seite des Thores entfernt war.

Da man die zuletzt abgerollte Erde nicht als eine solche betrachten konnte, welche einen Druck ausgeübt hat; die Erde aber mit der früher abgerollten sich vermischte, so blieb nichts übrig, als das Prisma, dessen Grundlinie 3',7 war, und welches man als das drückende annehmen zu müssen glaubte, zu berechnen.

Dieses Prisma enthält 33,3 Kubik-Fufs.

Die abgerollte Erde wurde gewogen.

N^{ro}. 1. Ein Kubik-Fuß Erde hat gewogen 77 $\frac{3}{4}$ Pfund.

» 2. » » » » » » 79 $\frac{1}{4}$ »

» 3. » » » » » » 79 $\frac{1}{4}$ »

» 4. » » » » » » 80 $\frac{1}{4}$ »

» 5. » » » » » » 79 »

» 6. » » » » » » 78 $\frac{3}{4}$ »

» 7. » » » » » » 80 »

» 8. » » » » » » 79 $\frac{1}{4}$ »

» 9. » » » » » » 79 $\frac{3}{4}$ »

» 10. » » » » » » 78 $\frac{3}{4}$ »

Zusammen 791 $\frac{1}{4}$ Pfund.

Im Durchschnitte wiegt daher ein Kubik-Fuß 79,125 Pfund. (Die Erde ist etwas leichter geworden).

Das Gewicht des drückenden Prisma's war demnach = 2613,86 Pfund.

Die auf der Wagschale erhobene Wirkung war 697 »

Fünfter Versuch am 17^{ten} April.

Die in dem Kasten von dem früheren Versuche zurück gebliebene Plan 4. Erde wurde größten Theils, besonders nach vorne zu heraus geschafft, und hierauf der Kasten wieder angefüllt. Die Belastung des Gewichtskastens war wie bey dem vorhergegangenen Versuche.

Die Bruchlinie zeigte sich bey 2',0, während dem Herablassen des Thores löste sich die Erde bis auf 3',12 ab; die Gestalt der Abdachung ist in dem *Plane* 4 ersichtlich gemacht.

Das drückende Prisma war 27 Kubik-Fuß gemessen; und da 1 Kubik-Fuß 79,125 Pfund wiegt, so betrug das Gewicht desselben 2136,375 Pfund.

Die auf der Wagschale erhobene Wirkung war 706 $\frac{1}{2}$ »

Versuch am 24^{ten} April.

Die beyden Kästen, von welchen oben die Rede war, waren fertig Plan 1, Fig. 15 geworden, und wurden beyde zugleich und zwar dergestalt gefüllt, daß und 16. sie zu gleicher Zeit voll werden mußten. Man glaubte bemerkt zu haben, daß, wenn die Erde die Eigenschaft hat, zu *cohaeriren*, wie diess bey

unserer Dammerde der Fall ist, schon die Art, wie die Erde in den Kasten geworfen wird, mit einwirken kann, die *Cohaesion* merklich zu vermehren. Den Beweis hiervon liefert der 5^{te} Versuch; bey den früheren Versuchen wurde die Erde dergestalt in den Kasten gefüllt, daß selbe von hinten nach vorne, das heißt: gegen das Thor zu abrollte; bey dem 5^{ten} Versuche aber wurde sie lagenweise ausgeglichen, wobey sich die *Cohaesion* bedeutend größer zeigte. Denn die Bruchlinie bildete sich bey diesem letzten Versuche nur auf 2',0 Entfernung von der inneren Seite der Thorwand, in dem am nähmlichen Tage um zwey Stunden früher vorgenommenen 4^{ten} Versuche aber auf 2,975. Aus diesem Grunde liefs man die beyden kleinen Kästen gerade so füllen, wie bey allen früheren Versuchen, nähmlich von hinten hervor, um den Erfolg mit mehreren früheren vergleichen zu können.

Als die Thüren an den beyden Kästen etwas wenig gelüftet worden waren, zeigten sich die Bruchlinien in beyden Kästen auf folgende Art:

Fig. 16. In dem breiteren Kasten auf 1',21 von der inneren Seite der Thürwand.

Fig. 15. In dem schmalen Kasten auf 1',49 von der inneren Seite der Thürwand.

Nachdem die Thüren bis über die Hälfte langsam herunter gelassen waren, fiel die Erde nach, und zwar:

In dem breiteren Kasten auf 1',925 im Mittel; ein vorwärts ragender starker Spitz blieb noch eine Weile stehen, fiel aber auch bald nach.

In dem schmalen Kasten auf 1',935 im Mittel; ein ganz kleiner ähnlicher Spitz blieb stehen, ohne herab zu fallen.

Wenn die Breite des Kastens einen Einfluß auf die Gröfse des Prisma's vom größten Drucke hätte, so würde sich die Bruchlinie in dem schmalen Kasten näher am Thore, als bey dem breiten Kasten haben zeigen müssen.

Von allen dem zeigte sich aber gerade das Gegentheil, denn nicht nur die erste Bruchlinie war entfernter, sondern auch das abgerollte Prisma war in dem schmalen Kasten größer, als in dem breiteren. Der Unterschied zwischen den in beyden Kästen abgefallenen Erd-Prismen ist so klein, daß diese Erscheinung sich durch den Umstand erklären ließe, daß sich nähmlich die Erde an den gehobelten Seitenwänden des Kastens weniger reibt, als Erde an Erde, und daß daher durch das schnelle Abgleiten der die Sei-

tenwände berührenden Erdtheile die nebenliegenden mit fortgerissen werden, wodurch bey einem schmälern Kasten ein größeres Prisma abfällt.

Unser große Kasten, welcher auf 6' Höhe 3' Breite hat, wird daher im Verhältnisse etwas größere *Prismen* liefern, als ein breiterer von gleicher Höhe, und die Wirkung des Druckes auch etwas größer gefunden werden, als dieß bey einem breiteren Kasten, oder in der Wirklichkeit Statt finden könnte, wo Erde sich an Erde reiben muß, um einen Druck gegen eine Futtermauer auszuüben. Dieser Fehler wird aber der Stabilität der Futtermauer zu Gute kommen, und dürfte darum um so eher Entschuldigung finden, da eine Vorrichtung, durch welche der Erddruck genau der Wirklichkeit gemäß gefunden werden könnte, nicht füglich ausgeführt werden kann.

Sechster Versuch am 25^{ten} April.

Der große Erdkasten wurde bis an den Rand gefüllt, und dabey darauf Plan 4. gesehen, daß die Erde mehr zerstreut werde; denn eine volle Schaufel Erde hinein geworfen verursacht einen Stoß, der ziemlich mit dem eines Stößels verglichen werden kann, die *Cohaesion* der Erde würde also dadurch bedeutend vermehrt worden seyn, was man eben vermeiden wollte.

Nachdem die Belastung des Gewichtskastens, welche übrigens wie bey den früheren Versuchen eingerichtet war, durch Ablassen von Schroten vermindert worden war, zeigte sich die erste Bruchlinie bey 2', 3. Wie bey allen früheren Versuchen senkte sich dieses *Prisma*, während das Thor langsam niedergelassen wurde, ganz allein; weiter rückwärts zeigten sich aber, als das Thor beyläufig halb herab gelassen war, zwey Sprünge auf der Oberfläche der Erde, der erste bey 3', 5, der zweyte schwächere bey 4', 3 von der inneren Seite der Thorwand entfernt.

Bey dem weiteren Herablassen des Thores fiel die Erde bis an den ersten Riß nach, und das *Prisma* bildete sich etwas wenigens muldentörmig, wie die Zeichnung zeigt. Die Erde erhielt sich auch in dieser Lage, so, daß man das Thor wieder aufzog, und die Wirkung zu erheben began; während dieser Operation fiel aber die Erde bis auf den zweyten Riß nach, man war daher genöthiget, auch diese Erde noch auszuräumen, und die Erhebung der Wirkung von neuem zu beginnen.

Das *Prisma*, welches als das drückende angesehen werden kann, ist jenes, welches 3',5 zur Basis hat; wenn man auf die muldenförmige Gestalt desselben Rücksicht nimmt, so enthält dasselbe 28,5 Kubik-Fufs.

Gewogene Erde.

N ^{ro} .	1.	Ein Kubik - Fufs Erde hat gewogen	79 $\frac{3}{4}$ Pfund.
„	2.	„ „ „ „ „ „	79 $\frac{3}{4}$ „
„	3.	„ „ „ „ „ „	79 $\frac{3}{4}$ „
„	4.	„ „ „ „ „ „	79 $\frac{3}{4}$ „
„	5.	„ „ „ „ „ „	80 $\frac{3}{4}$ „
„	6.	„ „ „ „ „ „	79 $\frac{3}{4}$ „
„	7.	„ „ „ „ „ „	79 $\frac{1}{4}$ „
„	8.	„ „ „ „ „ „	80 „
„	9.	„ „ „ „ „ „	80 $\frac{1}{4}$ „
„	10.	„ „ „ „ „ „	81 „
Zusammen			799 Pfund.

Da ein Kubik - Fufs Erde im Durchschnitte 79,9 Pfund wiegt, so ist das Gewicht des drückenden *Prisma's* = 2257,15 Pfund.

Die Wirkung auf der Wagschale wurde erhoben mit 679 „

Siebenter Versuch am 26^{ten} April.

Die Belastung des Gewichtskastens bestand aus

1000 Pfund in Bleygewichten,

700 „ „ Schrotten.

Zusammen . . . 1700 Pfund.

Der Erdkasten war auf die Art, wie früher bemerkt wurde, mit Erde gefüllt; nachdem die Belastung des Gewichtskastens um 280 Pfund Schrote vermindert worden war, erfolgte die erste Bewegung des Thores.

Plan 4.

Die erste Bruchlinie zeigte sich bey 1',1, an der linken Seitenwand wendete sich dieselbe bis auf 2',1 rückwärts, dieser Bruch hatte aber nur 0',7 zur Ordinate. Während das Thor herab gelassen wurde, bildete sich noch ein zweyter Bruch bey 2',4, und die Erde fiel endlich ab, indem sie ein etwas unregelmäßiges muldenförmiges *Prisma* bildete, dessen Grundlinie auf der linken Seite bis auf 2',6 zurück wich.

Das herab gefallene *Prisma* beträgt nach der Berechnung in Körpermass 21,53 Kubik-Fuß.

Ein Kubik-Fuß wiegt 79,9 Pfund.

Mithin ist das Gewicht desselben = 1720,247 Pfund.

Die Wirkung wurde auf der Wagschale erhoben mit 664 »

Achter Versuch am 26^{ten} April.

Um die Erde mit der möglichst geringen *Cohaesion* wirken zu lassen, Plan 4. wurde die in dem Kasten zurück gebliebene Erde stufenweise abgestochen, so zwar, daß die oberste Stufe 6', die unterste aber wenigstens 1' von der inneren Seite des Thores abstand. Das Thor wurde aufgezogen, und der leer gewordene Raum so schnell als möglich auf die früher beobachtete Weise mit Erde gefüllt.

Der Gewichtskasten war beschwert mit 1000 Pfund in Bleygewichten,

665 » » Schroten.

Zusammen . . . 1665 Pfund.

Als das Thor ausgehängt wurde, erfolgte die Wirkung augenblicklich, ohne daß die Belastung des Gewichtskastens hätte vermindert werden müssen, jedoch langsam, und so, daß derselbe nur um $\frac{1}{2}$ Zoll verschoben wurde.

Der erste Bruch zeigte sich bey 2',2 in gerader Richtung quer über die Breite.

Während dem Herablassen des Thores entstand der zweyte Bruch bey 2',85 ebenfalls in gerader Richtung. Die Erde fiel endlich ab, und bildete an dem oberen Rande einen unregelmässigen Bruch in einem Abstände von 3',13, an den beyden Seitenwänden war der Abstand 3',3 und 3',23, das *Prisma* war etwas muldenförmig.

Der Körper dieses *Prisma* berechnet gibt 27,27 Kubik-Fuß.

Ein Kubik-Fuß wiegt 79,9 Pfund.

Daher dessen Gewicht = 2178,873 Pfund.

Die Wirkung auf der Wagschale wurde erhoben mit 761,5 »

Neunter Versuch am 26^{ten} April.

Die im Kasten zurück gebliebene Erde wurde wieder wie zuvor stufenweise abgestochen, und dann der Kasten schnell gefüllt. Plan 5.

Die Belastung des Gewichtskastens war verstärkt worden, sie betrug
1000 Pfund an Bleygewichten,

945 » » Schroten.

Zusammen . . . 2045 Pfund.

Nachdem diese Belastung um 385 Pfund vermindert worden war, erfolgte die Wirkung.

Bey 1',8 war ein stärkerer, bey 3',0 ein schwächerer Bruch sichtbar. Als das Thor ganz herab gelassen worden war, fiel die Erde bis an den zweyten Bruch ab, und bildete ein regelmässiges *Prisma* ohne Mulde.

Während dem Ausräumen fiel die Erde aber noch nach, und zwar so, daß die Grundlinie oben 4',0 von der inneren Seite der Thorwand entfernt war.

Der Körper des zuerst abgefallenen *Prisma's* beträgt 27,0 Kubik - Fuß.

Und dessen Gewicht 2157,3 Pfund.

Die Wirkung auf der Wagschale wurde erhoben mit 744,5 »

Zehnter Versuch am 26^{ten} April.

Plan 5. Nach dem 9^{ten} Versuche wurde der Kasten ganz geleert, und Nachmittags von Neuem gefüllt.

Die Belastung des Gewichtskastens bestand aus

1000 Pfund an Bleygewichten,

560 » » Schroten.

Zusammen . . . 1660 Pfund.

Als das Thor ausgehängt wurde, erfolgte augenblicklich die Wirkung, der erste Bruch zeigte sich, jedoch undeutlich in einem Abstände von 1',74. Man ließ nun noch Schrote auslaufen, um sich über den Abstand und die Gestalt des Bruches mehr Sicherheit zu verschaffen; allein es erfolgte keine weitere Wirkung, selbst als bereits alle Schrote ausgelaufen waren. Da man berechtigt war zu glauben, daß sich durch das erste Setzen der Erde irgend ein bedeutender Widerstand an den Angeln des Thores, oder durch die zwischen den beyden Seiten des Thores und die vorge nagelten Leisten eingedrungene Erde gebildet haben müsse, welcher den weiteren Umsturz desselben verhindere; so wurden alle ausgelassenen Schrote wieder in den Gewichtskasten zurück gefüllt, und das Thor mittelst der Seile langsam

nachgelassen, nachdem zuvor dessen Verbindung mit dem Gewichtskasten aufgehoben worden war.

Der Bruch bildete sich hierauf sogleich bey 3',11; das *Prisma* fiel regelmässig, jedoch etwas muldenförmig ab, und die Erde erhielt sich ohne dass weiter etwas nachgefallen wäre.

Dieses *Prisma* berechnet gibt 26,33 Kubik-Fufs.

Das Gewicht desselben beträgt 2125,767 Pfund.

Die Wirkung für die durch den ersten Druck bewirkte Verschiebung des Gewichtskastens um 3 Linien, wurde auf der Wagschale erhoben mit 813 „

Eilfter Versuch am 26^{ten} April.

Die in dem Kasten zurück gebliebene Erde wurde staffelweise abgestochen, und sodann der Kasten schnell gefüllt.

Die Belastung des Gewichtskastens war wie in dem 9^{ten} Versuche, sie Plan 5. betrug 2045 Pfund. Das Gewicht der ausgelaufenen Schrote wurde nicht beobachtet. Der Bruch zeigte sich bey 2',05, und zu gleicher Zeit bey 4',0, beyde deutlich und geradlinig. Als man das Thor langsam fallen liess, entstand noch ein dritter Bruch zwischen den beyden ersteren in einem Abstände von 3',4 von der inneren Seite der Thorwand. In diesem letzten Bruche bildete sich das herab fallende *Prisma* sehr regelmässig ohne Mulde, und die Erde erhielt sich selbst während dem Ausräumen; als man aber eben im Begriffe war das Thor wieder zu schliessen, senkte sich das bis an den hintersten Bruch zurück gebliebene *Prisma* oben um 0',4, die Erde rollte nicht ab, nur die regelmässige schiefe Ebene wurde etwas vorwärts ausgebaucht, in welcher Lage sich die Erde auch erhielt, bis der Versuch vollständig beendet war.

Das abgefallene *Prisma* misst 30,6 Kubik-Fufs.

Dessen Gewicht beträgt 2444,94 Pfund.

Die Wirkung auf der Wagschale wurde erhoben mit 731,5 „

Zwölfter Versuch am 26^{ten} April.

Die in dem Kasten zurück gebliebene Erde wurde abermahls stufen- Plan 5. weise abgestochen, und hierauf der Kasten schnell gefüllt.

Die Belastung des Gewichtskastens war wie in dem vorhergegangenen Versuche.

Als das Thor gelüftet wurde, erfolgte die Wirkung sogleich, der Gewichtskasten gleitete langsam, und wurde um $1\frac{1}{2}$ Zoll, bis an die hinteren Stützen verschoben.

Der erste Riss zeigte sich bey 2',6, und ein zweyter bey 4',0; als das Thor herab gelassen wurde, fiel das *Prisma* bis auf diesen letzteren Bruch regelmäfsig und ohne Mulde ab.

Während dem Ausräumen rifs sich die Erde noch bis auf 4',9 ab, und fiel herab.

Das *Prisma*, dessen Grundlinie 4',0 ist, misst 36,0 Kubik-Fufs.

Dessen Gewicht beträgt 3085,4 Pfund.

Die Wirkung wurde auf der Wagschale erhoben mit 947,5 „

Dreyzehnter Versuch am 30^{ten} April.

Plan 5.

Die nämliche lockere Dammerde, welche bey allen früheren Versuchen verwendet worden war, wurde auch zu diesem und den an demselben Tage noch vorgenommenen Versuchen genommen. Weit der Kasten nach dem letzt vorhergegangenen Versuche ganz geleert worden war, wurde derselbe dießmahl frisch angefüllt, bey diesem Geschäfte aber darauf gesehen, daß die Erde nur hinein gestreut werde.

Die Belastung des Gewichtskastens war bey diesem und den folgenden Versuchen, bis einschließlic den 16^{ten}, wie früher bey dem 11^{ten} und 12^{ten} Versuche.

Als die Wirkung erfolgte, zeigte sich ein einziger Riss bey 2',55, nach welchem sich das *Prisma* ablöste und herab fiel, ohne daß weiter Erde nachgefallen wäre, oder sich auch nur ein Riss gezeigt hätte. Die Abdachung war eben, und zeigte nur eine unbedeutende Mulde, welche man daher nicht aufnahm.

Die wirklich herab gefallene Erde wurde gemessen, und betrug 22 Kubik-Fufs; die Rechnung gibt 22,95 Kubik-Fufs.

Es waren daher 0,95 Kubik-Fufs zurück geblieben.

Das Gewicht der herab gefallenen Erde macht. 1757,8 Pfund.

Die Wirkung wurde auf der Wagschale erhoben mit 692 „

Vierzehnter Versuch am 30^{ten} April.

Die in dem Kasten zurück gebliebene Erde wurde staffelweise abgegraben, und der Kasten hierauf schnell mit Erde gefüllt. Plan 5.

Die erste Bruchlinie zeigte sich bey 3',53, bis hierher fiel auch die Erde ab, und bildete das *Prisma* fast vollständig; während dem Ausräumen der Erde am Fusse fiel jedoch noch ein Theil nach; die Ablösung geschah bey 4',25 von der inneren Seite der Thorwand entfernt.

Das Prisma, dessen Grundlinie 3,53 ist, beträgt 31,77 Kubik-Fuß.

Dessen Gewicht 2538,432 Pfund.

Die Wirkung wurde auf der Wagschale erhoben mit 675 »

Fünfzehnter Versuch am 30^{ten} April.

Die im Kasten zurück gebliebene Erde war abermahls stufenweise abgehoben, und sodann der Kasten schnell gefüllt worden. Plan 5.

Als die Wirkung erfolgte, zeigten sich zugleich folgende Risse: der erste Riss bey 2',7 und 3',0 an den beyden Seitenflächen gemessen, der entfernteste bey 3',5; die Erde fiel jedoch nicht nach, sondern es löste sich nur das erste *Prisma* ab, so, daß man das Thor wieder aufziehen, und die herab gefallene Erde messen konnte, ohne daß während dieser Zeit ein weiteres Nachfallen erfolgt wäre.

Die herab gefallene Erde betrug gemessen 26,25 Kubik-Fuß.

Ihr Gewicht 2097,375 Pfund.

Die Wirkung wurde auf der Wagschale erhoben mit 871 »

Sechzehnter Versuch am 30^{ten} April.

Die zurück gebliebene Erde ward staffelweise abgegraben, der Kasten schnell gefüllt. Plan 5.

In dem Augenblicke, als das Thor zu weichen anfang, zeigten sich drey hinter einander liegende Bruchlinien, die erste bey 3',0, die zweyte bey 3',7, und die dritte bey 4',45, die beyden letzteren jede deutlich und bestimmt über die ganze Breite der Anschüttung. Als das Thor niedergelassen wurde, fiel die Erde zuerst bis an den ersten Bruch ab, dann folgte, aber erst als dasselbe ganz niedergelassen war, die Erde bis an den

zweyten Riß nach, und erhielt sich hier eine kurze Zeit, worauf der dritte Absturz bis zu 4',45 erfolgte.

Das *Prisma*, dessen Grundlinie 3',7 ist, mißt berechnet 33,3 Kubik-Fuß.

Dessen Gewicht 2660,67 Pfund.

Die Wirkung wurde auf der Wagschale erhoben mit 758 »

c) In einem mit Wasser gesättigten Zustande.

Vier und zwanzigster Versuch am 9^{ten} Junius.

Plan 13.

Der Kasten wurde, wie aus dem *Plane* ersichtlich ist, rückwärts mit größten Theils trockener Erde gefüllt, jedoch so, daß von der inneren Thorwand einwärts 1',5 von der Erde frey blieb, und von hieraus nach der natürlichen Abdachung die Anschüttung staffelweise aufgeführt ward.

Der leere Raum des Kastens wurde hierauf lagenweise mit Erde gefüllt, jede Lage so lange mit Wasser begossen, bis sie, ohne in flüssigen Zustand überzugehen, mit demselben gesättiget war.

Im trockenen Zustande hatte ein Kubik-Fuß dieser Erde gewogen 80,5 Pfund.

Mit Wasser gesättiget 104,2 Pfund.

Jeder Kubik-Fuß trockener Erde hatte daher 23,7 Pfund Wasser verschluckt.

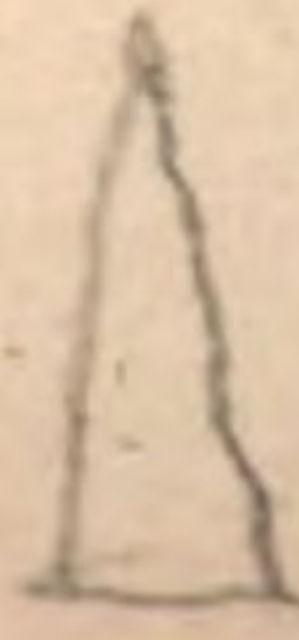
Die Wirkung, welche auf der Wagschale erhoben wurde, war 1880,66 Pfund.

Ein gleich schwerer flüssiger Körper würde unter gleichen Umständen mit 5626,8 Pfund gedrückt haben.

Mithin war der Druck der mit Wasser gesättigten, jedoch nicht übersättigten Dammerde ganz nahe der *dritte Theil* von dem Drucke eines gleich schweren Flüssigen, wenn man den an der Rolle überwältigten Widerstand nicht beachten will.

Das *Prisma* vom größten Drucke bildete sich bey 2,5 Fuß von der inneren Thorwand, also wie bey der trockenen Erde, und es fiel ziemlich gleichförmig ab; rückwärts entstanden Einsenkungen, welche aber keinen weiteren Einsturz herbey führten.

2.5 / 0.41



Berechnet man den Druck dieser Anschüttung als Erde, wovon ein Kubik-Fuß 104,2 Pfund wiegt, nach der Formel:

$$P = \frac{1}{2} p h^2 \text{Tang.}^2 \frac{1}{2} a,$$

wo $\text{Tang.} \frac{1}{2} a = 0,477$ ist; so erhält man den Druck auf das 3' breite Thor:

$$P = 1280,097 \text{ Pfund, und das Moment desselben}$$

$$M = 2560,194.$$

Der auf der Wagschale erhobene Widerstand war . . . 1880,6 Pfund.

Die Reibung an der Rolle war $\frac{1880 \times 0,5}{0,707 \times 3 \times 2,5} = 177,4$ „

Daher der erhobene Druck 1703,2 Pfund.

Das Moment desselben $M' = 3406,4$.

Die grössere Wirkung dieser mit Wasser gesättigten Anschüttung muß daher entweder dem Aufblähen dieser Erdgattung oder einer bedeutend verminderten Reibung zugeschrieben werden; auch zeigt sich, daß hier keine *Cohaesion* vorhanden gewesen sey, welche man bey der trockenen Erde selbst im lockersten Zustande durchaus als wirkend beobachtet hatte.

Fünf und zwanzigster Versuch am 11^{ten} Junius.

Der Kasten war ganz geleert worden, und lagenweise gefüllt, indem man die Erde in jeder Lage mit Wasser sättigte.

Die ganze Anschüttung wurde auf diese Art in eine sulzige zitternde Masse verwandelt, welche in sich zwar viele *Cohaesion* hatte, denn die Erde legte sich an die hinein gestossenen Schaufeln so fest an, daß sie schwer heraus zu ziehen waren, allein sie war doch im Begriffe, in flüssigen Zustand überzugehen. Ein Kubik-Fuß so gesättigter Erde hat gewogen 105,25 Pfund.

Die Belastung des Gewichtskastens bestand aus 4800 Pfund.

Als die Anschüttung auf diese Art 5 Fuß hoch gemacht worden war, erfolgte eine Verschiebung des Gewichtskastens um 3 Linien. Die Reibung des Gewichtskastens auf seiner Unterlage war 0,53, daher die Wirkung = 2544 Pfund.

Dieser Widerstand war aber an einem Hebelsarme von 2' Länge, dagegen der Druck nur an einem Hebelsarme von 1',666 angebracht; der Druck dieser übersättigten Erde war daher = 3054 Pfund.

Der Druck eines gleich schweren Flüssigen ist = 3946,875 Pfund.

Diese Anschüttung hatte daher schon angefangen, beynahe so wie ein flüssiger Körper zu drücken, und würde es mit etwas mehr Befeuchtung auch gethan haben. Denn, als das Thor herab gelassen wurde, war keine Bruchlinie zu bemerken; die ganze Masse setzte sich gleichförmig, und schob den vorwärts liegenden Theil heraus, ungefähr so, wie *Lava* zu fließen pflegt.

Zur Benetzung von 162 Kubik-Fuß, größten Theils schon durch den früheren Versuch durchnäster Erde, wurden noch 20 Kubik-Fuß Wasser verwendet.

Mit der Sättigung im 24^{ten} Versuche, wo 1 Kubik-Fuß 23,7 Pfund Wasser aufgenommen hatte, wurde, wie dieser letzte Versuch zeigt, das *Maximum* der Sättigung für den Fall erreicht, wo die Erde noch nicht als ein flüssiger Körper wirkt, denn 1,05 Pfund Wasser für den Kubik-Fuß Erde mehr, brachte diese schon sehr merklich zum fließen.

II.

Erhebung der natürlichen Böschung etwas feuchter und staubtrockener Dammerde.

Resultate der Versuche über die Reibung der Erde auf Erde.

Am 2^{ten} May.

Man untersuchte, welche natürliche Böschung diese bisher den Versuchen unterworfenen möglichst trockene Dammerde annehmen würde.

Zu diesem Ende wurde der kleine 3' hohe Kasten mit dieser trockenen Erde dergestalt voll gefüllt, daß sich dieselbe bis an den Fuß verlief, und daher einen leeren prismatischen Raum bildete. Nun wurde die horizontale Anlage der auf diese Art gebildeten Böschung gemessen, und bey der Höhe von 3' mit 3',73 gefunden.

Die Anlage der natürlichen Böschung trockener Dammerde bey der Höhe = 1, ist daher = 1,243.

Der Versuch wurde mit natürlich feuchter Dammerde wiederholt, und die Anlage der Böschung bey 3' Höhe mit 3',25 gefunden.

Plan 1 zeigt die Resultate der bisher über die Reibung trockener und feuchter Dammerde vorgenommenen Versuche, es sind nämlich die Nei-

gungsebenen sowohl durch Winkel als durch Functionen angegeben, unter welchen die Erde in eine ruckweise und endlich in eine gleitende Bewegung kam; auch ist jedesmahl die natürliche Böschung angezeigt, welche diese Erdgattung annimmt.

Man muß bey der Reibung von Erde auf Erde überhaupt bemerken, daß dieselbe von jener anderer Körper, welche eine feste und gleichförmigere Textur haben, sehr abweiche.

Wenn bey den letzteren Körpern die Neigung der schiefen Ebene gegen den Horizont nur um etwas kleiner ist, als das *Complement* des Reibungswinkels, so bleiben sie vollkommen in Ruhe; gleiten aber unaufhaltsam und mit beschleunigter Bewegung abwärts, wenn diese Neigung etwas größer wird. Bey der Erde hingegen erfolgt das Gleiten schon bey einer geringen Neigung ruckweise, und ein fortgesetztes Gleiten tritt erst dann ein, wenn die Neigung der schiefen Ebene mit der natürlichen Böschung überein kommt.

Bey unseren Reibungsversuchen konnte für das fortgesetzte Gleiten die natürliche Böschung aus dem schon früher angeführten Grunde nicht ganz erreicht werden, weil, wenn der kleine Erdkasten über die Erhöhung auf dem Tische vorgeglitten war, die Erde vorne heraus fiel, und der Versuch beendigt werden mußte. Es ist aber kein Zweifel, daß, wenn der Erdkasten weiter hätte gleiten können, wieder ein Ruhestand eingetreten seyn würde, und man sodann die schiefe Ebene neuerdings bis in die Lage der natürlichen Böschung hätte erheben müssen, um ein ununterbrochenes Gleiten zu erzielen.

Die angezeigten Erscheinungen bey dem Reiben der Erde auf Erde sind übrigens leicht erklärbar, obwohl sie bisher noch nicht bekannt waren; und gehören unter die vorzüglichsten physischen Erscheinungen, welche auf den Druck der Erde Einfluß nehmen.

III.

Erhebung der Cohesion lockerer Dammerde im natürlich feuchten und staubtrockenen Zustande.

Zwey und vierzigster Versuch am 28^{ten} August.

Bey den ersten Versuchen, welche mit lockerer Dammerde gemacht wurden, war der Weg noch nicht bekannt, wie die unvollkommene *Cohae-*

sion, welche selbst bey der trockensten und lockersten Erde durch die erhobene Wirkung sich offenbarte, auf eine zuverlässige Weise gefunden werden könne.

Um diese Zeit war es, wo Seine kaiserliche Hoheit der *General-Genie-Director* dem *Genie-Archive* ein Geschenk mit dem *Memorial de l'Officier du Génie* 1820 machte, und die höchste Gnade hatte, den *Ingenieur-Major v. Martony* auf den in dem Bande IV enthaltenen Aufsatz des Herrn *Français* über den Druck der Erde gegen Futtermauern aufmerksam zu machen. Die in diesem vortrefflichen Aufsätze entwickelten Formeln gaben die Mittel an die Hand, um entweder aus der auf die Einheit der Fläche bekannten *Cohaesion* dort c benannt, die Höhe h' , auf welche die Erde sich *vertical*, oder die Höhe h'' zu finden, auf welche sich die Erde unter einem gegebenen Winkel $\frac{1}{2} \pi - \varepsilon$ zu erhalten vermag, ohne einzufallen. Ferner gibt die eben daselbst angefügte *Tabelle* über die Böschungsanlagen der Erdaushebungen die Mittel, um bey einer gegebenen Höhe h und der gefundenen Höhe h' für die *verticale* Abgrabung, oder bey gefundener Anlage für die steilste Abgrabung den Werth von $\frac{h}{h'}$, und somit auch h' selbst zu finden.

Man kann daher die unvollkommene *Cohaesion* jeder Erdgattung auf zweyerley Art erheben:

1^{ens}. Wenn man Anschüttungen von lockerer Erde von verschiedenen Höhen macht, jede derselben *vertical* absticht, und die größte dieser Höhen beobachtet, bis zu welcher sich die Erde in dieser Lage erhält; diese Höhe ist der Werth von h' .

2^{ens}. Wenn man eine Anschüttung von einer bekannten Höhe h , und bekannter natürlicher Böschungsanlage so lange schief abstechen läßt, bis man die steilste Böschung gefunden hat, unter welcher sich die Anschüttung erhält, ohne einzufallen. Das Verhältniß der Anlage dieser steilsten Böschung zur Höhe h gibt eine Zahl, die man, oder eine mit ihr zunächst übereinstimmende in der ersten *verticalen* Colonne der *Tabelle* aufsucht; das Verhältniß der natürlichen Böschungsanlage zur Höhe h gibt abermahls eine Zahl, welche man in der obersten horizontalen Colonne der *Tabelle* aufsucht; in der Durchkreuzung beyder Colonnen findet man dann eine Zahl, welche gleich ist $\frac{h}{h'}$, und durch welche h dividirt werden

muß, um den Werth von h' zu erhalten. In Fällen, wo die Anlage der steilsten Böschung oder jene der natürlichen Böschung nicht in der *Tabella* enthalten sind, kann man zum Interpolieren seine Zuflucht nehmen.

3^{tes}. Wünscht man, wenn h' gefunden worden ist, die *Cohaesion* auf die Einheit der Fläche zu kennen; so erhält man dieselbe aus der Formel (9)
 $c = \frac{1}{4} p h' \text{Tang. } \frac{1}{2} a.$

Jede Erhebung der unvollkommenen *Cohaesion* wurde nach 1 und 2 vorgenommen, um die Richtigkeit der Erhebung zu controlliren.

Um die *Cohaesion* der lockeren trockenen Dammerde zu erheben, Plan 13. welche die nämliche war, mit welcher man die früheren Versuche über den Druck veranstaltet hatte, und welche in der Zwischenzeit eine Zeit lang im Freyen, dann aber schon lange unter Dach aufbewahrt worden war, wurde zuerst das Gewicht erhoben; man fand, daß im Durchschnitte 1 Kubik-Fuß wiege = 74,674 Pfund.

Diese Erde war daher etwas feuchter, als im vollkommenen trockenen Zustande, wo 1 Kubik-Fuß 80,5 Pfund wiegt.

Es wurde sodann der kleine Kasten mit Erde gefüllt, um die Anlage der natürlichen Böschung zu erhalten: diese Anlage ergab sich für 3' Höhe mit 3',60 übereinstimmend mit den vorigen Versuchen, in welchen die Erde trockener war, und auch 3',7 zur Anlage hatte.

(Die Anlage der natürlichen Böschung ist daher = 1,20 h).

Hierauf wurde die steilste Böschung gesucht, unter welcher sich die Erde noch zu erhalten vermag, und diese bey 3' Höhe mit 1',5 gefunden.

Die Anlage der steilsten Böschung ist daher = 0,5 h .

Wenn man die Versuche mit Dammerde von dem 1^{ten} an untersucht, so wird man finden, daß nach Herablassung des Thores die Erde sich unter einer Böschung erhalten habe, welche in mehreren Fällen dieselbe, nämlich 0,5 h , manchemal etwas mehr oder weniger gewesen sey, und daß nur bey dem Ausräumen noch Erdkörper später nachgefallen seyn. Man wird ferner noch beobachten können, daß diese Böschung bey feuchter Erde kleiner als bey der trockenen, und am größten in jenen Versuchen war, wo die in dem Kasten zurück gebliebene Erde staffelweise abgegraben, und nur das leere *Prisma* so schnell als möglich ausgefüllt wurde, um die *Cohaesion* möglichst zu beseitigen. Man hat daher bey jedem Versuche schon

eine *Cohaesions*-Erhebung durch schiefe Abstechung, und kann sonach die gefundenen Wirkungen mit jener der *Theorie* vergleichen.

Vertical war man nicht im Stande diese Erde abzustecken.

Drey und vierzigster Versuch am 28^{ten} August.

Erhebung der Cohesion lockerer etwas feuchter Dammerde.

Plan 13. Ein Kubik-Fuß dieser Erde hat im Durchschnitte gewogen = 66,18 Pfund.

Die natürliche Böschungsanlage betrug dießmahl auf 3' Höhe 3',60; oder die Anlage der natürlichen Böschung war = 1,20 *h*.

Die Anlage der steilsten Böschung war = 0,466, für die Höhe = 1; denn es wurde die steilste Böschung bey 3' Höhe mit 1',4 gefunden.

Vertical abgegraben, erhielt sich diese Erde auf 0',9 standhaft.

Vier und vierzigster Versuch am 29^{ten} August.

Cohaesion nasser vollkommen gesättigter Dammerde.

Plan 13. Der 6' lange, 1½' breite und 3' hohe Kasten wurde lagenweise mit der schon etwas feuchten Dammerde gefüllt, und dieselbe in jeder Lage mit Wasser befeuchtet; es wurden hierzu 3,5 Eimer Wasser verwendet.

Von der so gesättigten Erde wiegt ein Kubik-Fuß = 108 Pfund.

Die Anlage der natürlichen Böschung war bey 3' Höhe = 4',37; oder die Anlage der natürlichen Böschung = 1',456 *h*.

Als der ganze Kasten bey verschlossenem Thore voll gefüllt war, und man dieses öffnete, fiel die Erde sogleich bis auf die natürliche Böschung herab, und ließ sich weder nach einer steileren Böschung, noch auf irgend eine Höhe *vertical* abstecken.

IV.

Erhebung des Druckes lockerer Dammerde, wenn die Anschüttung höher ist als das Hinderniß.

a) Im staubtrockenen Zustande.

Siebzehnter Versuch am 14^{ten} May Nachmittags.

Plan 6. Die von dem vorher gegangenen Versuche in dem Erdkasten zurück gebliebene Erde wurde in Staffeln abgegraben, und sodann die Anschüt-

tung sammt Ueberhöhung mit der schon erwähnten Vorsicht so schnell wie möglich hergestellt.

N^{ro}. 1. Ein Kubik - Fuß dieser Erde hatte ein Gewicht von $80\frac{1}{4}$ Pfund.

» 2. » » » » » » » » » »	$79\frac{3}{4}$ »
» 3. » » » » » » » » » »	$79\frac{2}{4}$ »
» 4. » » » » » » » » » »	80 »
» 5. » » » » » » » » » »	80 »
» 6. » » » » » » » » » »	80 »
» 7. » » » » » » » » » »	$80\frac{1}{4}$ »
» 8. » » » » » » » » » »	$81\frac{1}{4}$ »
» 9. » » » » » » » » » »	$81\frac{3}{4}$ »
» 10. » » » » » » » » » »	82 »

Zusammen . . . 805 Pfund.

Das mittlere Gewicht eines Kubik-Fusses trockener lockerer Dammerde betrug 80,5 Pfund.

Das abgerollte *Prisma* enthielt gemessen 46 Kubik - Fuß.

Das Gewicht desselben betrug daher 3703 Pfund.

Die Wirkung wurde auf der Wagschale erhoben mit 1312 Pfund.

Der Gewichtskasten enthielt 2000 Pfund an Bleygewichten,

300 » » Schroten.

Zusammen . . . 2300 Pfund.

Als die Anschüttung vollendet war, wurde der Gewichtskasten sogleich um 3 Linien schnell zurück geschoben, und die Bruchlinie zeigte sich bey 5', 1 vom vorderen Rande des Kastens entfernt, auf der Höhe der Anschüttung gemessen.

Während das *Prisma* von dieser Bruchlinie begränzt abfiel, zeigte sich weiter rückwärts noch ein Sprung nach der in der Zeichnung angegebenen Form. Die Erde erhielt sich in der schiefen Böschung, nach welcher das Erd-*Prisma* abgefallen war.

Achtzehnter Versuch am 15^{ten} May Vormittags.

Die Erde wurde nach Beendigung des am gestrigen Tage vorgenommenen Versuches in Staffeln abgegraben, und bis heute so stehen gelassen, Plan 6.

wo man dann die Anschüttung sammt Ueberhöhung so schnell als möglich bewirkte.

Nach erfolgter Wirkung, durch welche der Gewichtskasten um $\frac{1}{2}$ Linie verschoben wurde, zeigte sich die Bruchlinie auf der Höhe der Anschüttung genau in der Entfernung von dem vorderen Rande des Kastens wie in dem 17^{ten} Versuche, nämlich bey 5', 1. Bis an diese fiel auch die Erde nach, als man das Thor langsam nieder ließ. Während dieß geschah, zeigten sich noch zwey Risse, der erste auf 6 Fuß, der später entstandene auf 6,8 Fuß Entfernung von dem vorderen Rande des Kastens; beyde Risse bewirkten jedoch kein weiteres Nachfallen von Erde.

Das abgefallene Erd-Prisma und dessen Gewicht war genau dasselbe wie in dem 17^{ten} Versuche.

Die auf der Wagschale erhobene Wirkung war 1312 Pfund.

Neunzehnter Versuch am 17^{ten} May.

Plan 6.

Der Erdkasten war ganz geleert worden, und wurde nun frisch gefüllt, was mit Schnelligkeit geschah. Das Gewicht der Erde hatte sich nicht verändert, der Kubik-Fuß wog im Mittel 80,5 Pfund. Als die Wirkung erfolgte, zeigte sich die Bruchlinie an der einen Wand auf 5', 0, an der anderen auf 5', 06, im Mittel auf 5', 3 von dem vorderen Rande des Kastens entfernt.

Die Böschung gestaltete sich aber bey dem Abrollen des Erd-Prisma's zu einer beynahe vollkommenen Ebene, denn das Messen und die Berechnung dieses *Prisma's* geben dasselbe Resultat, nämlich 55 Kubik-Fuß, dessen Gewicht 4427,5 Pfund betrug.

Die auf der Wagschale erhobene Wirkung war 1462 Pfund.

Bey Erhebung dieser Wirkung tratt der Umstand ein, daß, nachdem man bereits 1350 Pfund auf die Wagschale gelegt hatte, ohne daß der Gewichtskasten sich bewegt hätte, und man daher 25 Pfund von der Wagschale weg hob, um dafür 50 Pfund darauf zu setzen, der Gewichtskasten nun mit der geringeren Last plötzlich glitt. Da dieser Umstand nur einem kleinen Stofs zuzuschreiben ist, welcher bey der Auswechslung der Gewichte verursacht worden seyn muß; so war man berechtigt, das vorher

aufgelegte Gewicht, welches nur noch einer unbedeutenden Vermehrung bedurft hätte, um den Kasten zu bewegen, als das wirkende anzusehen.

Dieses betrug aber 1350 Pfund.

Das Gewicht der Wagschale 112 »

Zusammen obige . . . 1462 Pfund.

Die mühsame und Zeitraubende Manipulation mit so vielen Gewichten, sowohl bey der Belastung des Gewichtskastens, als auch bey der Erhebung der Wirkung muß es entschuldigen, daß man bey der letzteren die Schrote nicht anwendete, welche bey den Versuchen mit Ueberhöhungen zu wenig ausgiebig gewesen wären, dagegen aber die Mühe und den Zeitverlust bedeutend vermehrt haben würden; auch waren bey diesen schon ansehnlichen Wirkungen kleine Differenzen in dem erhobenen Gewichte, wenn sich solche ergeben hätten, weniger der Beobachtung werth, als bey allen früheren Versuchen.

Zwanzigster Versuch am 17^{ten} May Nachmittags.

Der Kasten wurde ganz geleert, und von Neuem mit Erde schnell gefüllt. Plan 6.

Ein Kubik-Fuß wog im Mittel 80,5 Pfund.

Bey erfolgter Verrückung des Gewichtskastens entstand die Bruchlinie an der einen Wand bey 5',2, an der anderen bey 4',8, im Mittel bey 5',3. Bis an diese Linie fiel auch das Erd-Prisma ab, es enthielt berechnet 53 Kubik-Fuß im Gewichte von $4266\frac{1}{2}$ Pfund.

Die Wirkung wurde auf der Wagschale erhoben mit 1262 Pfund.

b) Im natürlich feuchten Zustande.

Ein und fünfzigster Versuch am 11^{ten} December.

Um den Einfluß der *Cohaesion* lockerer Erde auf den Seitendruck der Erde bey höheren Anschüttungen so genau, als es möglich seyn würde, kennen zu lernen, beschloß man noch die nachfolgenden Versuche, und zwar mit natürlich feuchter Dammerde vorzunehmen, weil sich bey dieser Erde die *Cohaesion* mit mehr Schärfe bestimmen läßt, als bey einer sehr trockenen, welche allzu beweglich ist.

Als der Apparat vorbereitet war, um eine Anschüttung herzustellen, welche um 4 Fuß höher ist, als das Thor des Kastens, sich aber gegen dieses unter 45° abböschte; wurde der Kasten mit Erde gefüllt, die überhöhende Anschüttung hergestellt, und zugleich folgende Erhebungen vorläufig gemacht:

Zehn Kubik-Fuß wurden gewogen, welche das Gewicht im Durchschnitte gaben für 1 Kubik-Fuß mit 71,73 Pfund.

Die Anlage der natürlichen Böschung wurde bey 6 Fuß Höhe erhoben, und für die Einheit der Höhe mit 1,133 gefunden.

Kaum war die Anschüttung vollkommen hergestellt, als der Gewichtskasten sich um $\frac{1}{2}$ Linie zurück schob; da aber keine weitere Bewegung erfolgte, ließ man Schrote ablaufen. Nachdem bereits $\frac{2}{3}$ der vorhandenen Schrote ausgelaufen waren, bemerkte man abermahls eine kleine Bewegung des Gewichtskastens; man beendigte nun den Versuch aus Furcht, die Wirkung zu klein zu erheben.

Auf der Oberfläche der Anschüttung war keine Bruchlinie zu bemerken; nachdem aber das Thor etwas nachgelassen wurde, bildete sich diese, und zwar an der einen Seite auf 4',3, auf der anderen auf 4',2, und in der Mitte auf 4',7 von dem vorderen Rande des Kastens entfernt. In dieser Form fiel auch das Erd-Prisma ab, und die Erde erhielt sich standhaft während des Ausräumens der abgefallenen Erde.

Auf der Wagschale fand man die Wirkung mit 919 Pfund.

Hierauf wurde die *Cohaesion* in der Anschüttung selbst durch das Abstechen nach einer Böschung erhoben, welche als die steilste angesehen werden konnte. Nachdem man die Erde auf 10 Fuß Höhe dergestalt mit Vorsicht abgestochen hatte, daß die Anlage der Böschung nur 3 Fuß betrug, erhielt sich die Anschüttung noch standhaft; als man aber diese Anlage noch um 3 Zoll zu vermindern versuchte, stürzte sie ein, ehe noch das Abstechen vollendet war. Man hatte bey dieser Erhebung die Vorsicht gebraucht, die Anlage der Böschung immer nur um 3 Zoll auf einmal zu vermindern, indem man von der Böschung ausging, unter welcher die Erde nach erfolgter Wirkung stehen geblieben war.

Die Anlage der steilsten Böschung war daher für die Einheit der Höhe = 0,300.

Zwey und fünfzigster Versuch am 12^{ten} December.

Der Versuch wurde mit der nährlichen Erde wiederholt. Aus dem Plan 7. Gewichte von 10 Kubik-Fuß ergab sich das Gewicht eines Kubik-Fußes mit 70,3 Pfund.

Die Anlage der natürlichen Böschung war auf die Einheit der Höhe 1,133.

So wie die Anschüttung vollständig beendet war, wurde der Gewichtskasten abermahls verrückt, ohne daß man dessen Belastung noch vermindert hatte, dießmahl betrug jedoch der Abstand von der anfänglichen Stellung desselben 1 Linie.

Man beendigte daher den Versuch, ohne die Belastung zu vermindern, in der Meinung, die Erde habe schon gewirkt. Auf der Oberfläche der Anschüttung war keine Bruchlinie zu bemerken; sie zeigte sich erst, als das Thor nachgelassen wurde, und zwar auf der einen Seite auf 4',6, auf der anderen auf 4',9, und in der Mitte auf 4',6 von dem vorderen Rande des Kastens entfernt.

Als man das Thor niedergelassen hatte, fiel die Erde nicht ganz bis an diesen Riß ab, sondern erhielt sich auf der einen Seite bis auf 4',4 Entfernung von dem vorderen Rande des Kastens.

Man schritt darauf zur Erhebung der steilsten Böschung, deren Anlage man, wie in dem vorhergegangenen Versuche, auf die Einheit der Höhe mit 0,300 fand.

Da die Erde die nährliche *Cohaesion* zeigte, wie die in dem vorigen Versuche erhobene, und weder das Gewicht noch die Anlage der natürlichen Böschung sich bedeutend geändert hatten, die Belastung des Gewichtskastens aber auf eine bedeutend größere Wirkung schließen ließ, wenn die Reibung auf der Grundfläche des Gewichtskastens die nährliche geblieben wäre; so konnte man schon hieraus schließen, daß die Wirkung wahrscheinlich zu groß gefunden werden dürfte. Um jedoch sicher zu gehen, ließ man die Wagschale einhängen, nachdem man aber bereits 1300 Pfund darauf gelegt hatte, ohne den Gewichtskasten zum Gleiten gebracht zu haben, beendigte man den Versuch, welchen man in Bezug auf die Wirkung als mißlungen ansehen mußte.

Da man bey ähnlichen Erhebungen, besonders bey den ersten Versuchen, die *Cohaesion* gar nicht kennt, die Reibung des Gewichtskastens auf

seiner Unterlage aber wegen der Veränderungen, welchen sie unterliegt, nur schätzen kann; so ist es sehr schwierig, den Augenblick richtig zu beurtheilen, wenn man die Wirkung als vollendet betrachten müsse. Weil aber der Erddruck nur dann seine volle Wirkung geäußert haben kann, wenn der Gewichtskasten fortgesetzt auf seiner Unterlage gleitet, und die Reibung vollständig überwunden ist; so beschloß man in der Folge, die Belastung so lange zu vermindern, bis dieses fortgesetzte Gleiten eintreten würde.

Drey und fünfzigster Versuch am 12^{ten} December.

Plan 8. Das Gewicht von einem Kubik-Fuß Erde wurde im Durchschnitte gefunden mit 71,1 Pfund.

Die Anlage der natürlichen Böschung war, wie früher, auf die Einheit der Höhe 1,133.

Nach beendigter Herstellung der Anschüttung wurde der Gewichtskasten um 1 Linie verschoben.

Man bemerkte genau die in dem Gewichtskasten befindlichen Gewichte, worunter sich der ganze Vorrath von Schrotten befand; verminderte aber die Belastung sodann so lange, bis der Gewichtskasten fortgesetzt gleitete.

In diesem Augenblicke bildete sich die Bruchlinie auf der Oberfläche der Anschüttung, auf der einen Seite 4',4, auf der anderen 4',7 entfernt von dem vorderen Rande des Kastens. Das Erd-Prisma fiel bis an diese Bruchlinie ab, und die Erde erhielt sich in der angenommenen Böschung.

Die Anlage der steilsten Böschung war auf die Einheit der Höhe = 0,300.

Die Wirkung, welche dem fortgesetzten Gleiten des Gewichtskastens entspricht, wurde auf der Wagschale erhoben mit 394 Pfund.

Die Wirkung aber, welche der ersten Bewegung des Gewichtskastens entspricht, wurde auf der Wagschale erhoben mit 1635 Pfund.

Vier und fünfzigster Versuch am 13^{ten} December.

Plan 8. Das Gewicht von einem Kubik-Fuß Erde wurde im Durchschnitte gefunden mit 71,5 Pfund.

Die Anlage der natürlichen Böschung war auf die Einheit der Höhe 1,133.

Die anfängliche Verrückung des Gewichtskastens, gleich nach hergestellter Anschüttung, wurde nicht beachtet, sondern man verminderte die Belastung, indem man zuerst Gewichte aus dem Kasten nahm, und dann Schrote ablaufen ließ. Als auf diese Art die anfängliche Belastung schon bedeutend verringert worden war, machte der Gewichtskasten zwey auf einander folgende, jedoch sehr kleine Bewegungen, welche abermahls dazu verleiteten, den Versuch zu beendigen.

Die steilste Böschung fand man mit einer Anlage von 0,25 auf die Einheit der Höhe. Hiernach hätte die Wirkung kleiner ausfallen müssen, als in dem 53^{ten} Versuche; man erhob sie jedoch auf der Wagschale mit 619 Pfund, und muß daher auch diesen Versuch als einen in Hinsicht auf die erhobene Wirkung mißlungenen betrachten.

Fünf und fünfzigster Versuch am 15^{ten} December.

Das Gewicht von einem Kubik-Fuß Erde wurde im Durchschnitte Plan 9. erhoben mit 71,3 Pfund.

Die Anlage der natürlichen Böschung war auf die Einheit der Höhe 1,133.

Diesmahl verminderte man die Belastung so lange, bis der Gewichtskasten fortgesetzt gleitete. Dieß geschah anfangs sehr langsam, dann aber plötzlich so schnell, daß der Gewichtskasten an die rückwärts zum Aufhalten angebrachte Leiste mit Gewalt anrannte, aufwärts sprang, das Thor aber auf die Eisenstange auffiel, und diese verbog.

Die steilste Böschung hatte auf die Einheit der Höhe 0,25 zur Anlage.

Die Wirkung wurde auf der Wagschale erhoben mit 419 Pfund.

Sechs und fünfzigster Versuch am 17^{ten} December.

Die bey dem gestrigen Versuche gebogene Verbindungsstange war Plan 9. reparirt worden.

Das Gewicht wurde im Durchschnitte für einen Kubik-Fuß mit 72,4 Pfund erhoben.

Die Anlage der natürlichen Böschung war wie in den früheren Versuchen 1,133.

Um sich zu überzeugen, ob die bisher beobachtete erste Verrückung des Gewichtskastens bloß eine Folge der ersten Setzung der Erde sey, nach

welcher die *Cohaesion* eigentlich erst entsteht, liefs man das Thor des Kastens während der Herstellung der Anschüttung zugleich auch mittelst der beyden Seile fest halten, indem man beyde Räder des Zuges sperrte. So wie die Anschüttung fertig war, wurden die Seile sehr langsam nachgelassen, und obgleich der Gewichtskasten gerade so beschwert war, wie bey den vorhergegangenen Versuchen, erfolgte doch nicht die geringste Verrückung desselben. Man verminderte nun die Belastung so lange, bis der Kasten fortgesetzt gleitete, hing aber schnell die beyden Seile ein, als diefs erfolgte, um den gestrigen Unfall zu vermeiden. Auf der Oberfläche der Anschüttung gestaltete sich die Bruchlinie auf der einen Seite auf 4',5 von dem vorderen Rande des Kastens entfernt, in welcher Entfernung sie gleichlaufend mit der Thorward 1',5 lang fort lief, von hier aber sich rückwärts wendete, so, daß sie an der anderen Seite 5',08 von dem vorderen Rande des Kastens abstand. Die Erde fiel bis an diese Linie ab, und bildete ein leeres Prisma, welches sich gegen den Kastenrand verlief.

Die steilste Böschung wurde, wie in allen früheren Versuchen, in der 10 Fuß hohen Anschüttung selbst erhoben, und für die Einheit der Höhe mit 0,275 gefunden.

Die auf der Wagschale erhobene Wirkung betrug 417 Pfund.

Sieben und fünfzigster Versuch am 18^{ten} December.

Plan 10. Das Gewicht wurde im Durchschnitte für einen Kubik-Fuß mit 71,4 Pfund erhoben.

Die Anlage der natürlichen Böschung war 1,133,

Die Belastung des Gewichtskastens wurde so lange vermindert, bis derselbe fortgesetzt gleitete.

Die Bruchlinie zeigte sich auf der Oberfläche der Anschüttung in einer Entfernung von 4',1 von dem vorderen Rande des Kastens, und lief in diesem Abstände geradlinig quer über die Breite desselben.

Die Erde fiel nach dieser Linie ab, blieb aber am vorderen Rande bis auf eine Höhe von 2',5, vom Boden an gemessen, vertical stehen.

Die Anlage der steilsten Böschung fand man für die Einheit der Höhe mit 0,25, als man dieselbe noch um 3 Zoll vermindern wollte, stürzte die Erde ein.

Auf der Wagschale wurde die Wirkung erhoben mit 390 Pfund.

V.

Lockere trockene Dammerde gegen eine Ziegelmauer
drückend.

Ein und zwanzigster Versuch am 18^{ten} May.

Um der aufzuführenden, auf beyden Seiten verticalen trockenen Mauer, Plan 10. welche in diesem Versuche anstatt des Kastenthores den Widerstand bilden sollte, ein unwandelbares Fundament zu geben, wurde das Thor so niedergelassen, daß es horizontal auflag. Man schritt nun zuerst zur Erhebung des Gewichtes von einem Kubik-Fuß trockener Ziegelmauer. Zu diesem Ende wurde ein als Maß dienender Wiener Kubik-Fuß mit Ziegeln dergestalt angefüllt, daß alle Zwischenräume mit sorgfältig behauenen Ziegelstücken so vollkommen ausgefüllt wurden, daß es eigentlich weder horizontale noch verticale Fugen gab. Auf diese Art geschichtet betrug das Gewicht eines Kubik-Fusses 80,76 Pfund.

Da jedoch die Mauer aus trockenen Ziegeln nicht so aufgeführt werden konnte, da dieselben wegen der Unebenheit ihrer Flächen bedeutende Zwischenräume zwischen sich entstehen lassen müssen; so wurden auch mehrere Kubik-Fuß so aufgeschichtet, wie die Fugen sich gestalten, und dann gewogen; man fand das Gewicht eines Kubik-Fusses so geschichteter Ziegeln mit 76,43 Pfund, welches man in Rechnung brachte.

Das Gewicht von einem Kubik-Fuß Erde, welche die nämliche war, mit der man die Versuche bisher angestellt hatte, hat gewogen = 80,5 Pfund.

Setzet man voraus, daß die Erde im lockeren Zustande ohne *Cohaesion* wirke, so wird das Moment des Erddruckes in der Breite unseres Kastens, nämlich:

$$(17) \quad M = 3 \times \frac{1}{2} \frac{p h^3}{3} \operatorname{Tang}^2 \frac{1}{2} a.$$

Und der Winkel $a = 51^\circ$. $\operatorname{Tang}^2 \frac{1}{2} a = 0,2275$. $p = 80,5$, $h = 6$; so wird

$$M = 1977,88.$$

Das Moment der Mauer ist, wenn die Dicke derselben x benannt wird:

$$\left(13 x \cdot 76,43 \right) \frac{x}{2} = 687,87 \cdot x^2.$$

Und weil für den Stand des Gleichgewichtes beyde Momente gleich seyn müssen, so ist

$$687,87 x^2 = 1977,88.$$

$$x^2 = 2,875.$$

$$x = 1,69.$$

Der Theorie zu Folge hätte daher die Mauer nahe 1',7 dick werden müssen. Man beschloß jedoch sie schwächer zu machen, weil man bey allen bisher vorgenommenen Versuchen bemerkt hatte, daß die Erde, obwohl möglichst locker und trocken, doch eine bedeutende *Cohaesion* habe.

Der Durchschnitt aus allen auf der Wagschale erhobenen Wirkungen in diesen Versuchen entfällt mit 749 Pfund, und nach Abschlag des an der Rolle überwältigten Widerstandes verbleiben hiervon noch 670,2 Pfund.

Das Moment dieser an einem 2 Fuß langen Hebelsarme angebrachten Kraft ist sonach 1340,4 Pfund.

Und die Gleichung für den Stand des Gleichgewichtes

$$687,87 x^2 = 1340,4.$$

$$x = \sqrt{\frac{1340,4}{687,87}} = 1',39.$$

Die Mauer wurde daher 1',4 dick gemacht, und so angelegt, daß sie um 1',3 außer dem Kasten, und um 0',1 in den Kasten hinein ragte, und zwar Letzteres darum, damit keine Erde seitwärts heraus fallen konnte; man war indessen darauf bedacht, daß die Ziegel nicht scharf an die Wände des Kastens angesetzt wurden.

Sobald die Mauer bis zur Höhe des Kastens aufgeführt war, wurde derselbe schnell mit Erde zu füllen angefangen, und dabey immer beobachtet, welche Veränderungen an der Mauer zu bemerken seyen.

Als die Anschüttung die Höhe von 5',2 erreicht hatte, neigte sich die Mauer um 3 Linien auswärts. Die Neigung begann an der äußeren und inneren Seite von unten an, und lief in gerader Linie, ohne Ausbauchung an irgend einer Stelle, bis zum höchsten Puncte fort.

Als die Anschüttung die Höhe des Kastens erreicht hatte, also 6 Fuß hoch war, betrug die Neigung der Mauer 7 Linien.

Man fuhr nun fort, eine Ueberhöhung zu bilden, welche nach vorne in einer Böschung von 45 Graden endigte. In der Zeichnung sind die verschiedenen Lagen, in welche die Erde der Ueberhöhung nach und nach ausgeglichen wurde, angedeutet, die Neigung, welche die Mauer nach jeder solchen Ausgleichung annahm, war folgende:

Die Höhe der Anschüttung, vom Boden des Kastens an gemessen, neigte sich die Mauer

bey der Höhe 6', 17 um 8 Linien über die *Verticale*,

» » » 6, 24 » 9 » » »

» » » 6, 40 » 12 » » »

» » » 6, 65 » 17 » » »

» » » 6, 97 » 22 » » »

» » » 8, 07 » 31 » » »

» » » 8, 20 stürzte die Mauer plötzlich, indem sie sich um die vordere unterste Kante drehte, ohne sich aber während des Umsturzes auszubauchen oder zu trennen.

Erst als die Ziegel den Boden berührten, fuhren die vordersten auseinander, ein großer Theil des mittleren Mauerkörpers blieb auch jetzt noch so beysammen, wie es in dem Plane dargestellt ist. Am Fusse blieben zwey Ziegellagen ganz, die zwey oberhalb folgenden aber nur zum Theil liegen, sie waren aber über einander etwas vorgeschoben, ungefähr in der Richtung der ersten Neigung, welche die Mauer angenommen hatte.

Die Grundlinie des abgefallenen Erd-Prisma's war auf der Höhe der Anschüttung gemessen 3', 11 lang, die Böschung bildete eine Ebene, welche sich auf die oberste liegen gebliebene Ziegelschar verlief.

Drey und zwanzigster Versuch am 30^{ten} May.

Großer Versuch mit lockerer Dammerde.

Um die bisher gemachten Erfahrungen durch einen Versuch in großem Plan 11. Maßstabe zu berichtigen, wurde der folgende große Versuch ausgeführt.

In dem Graben der Hauptumfassung, vor dem noch stehenden, aber seiner Mauerverkleidung beraubten *Tenailion* an der rechten *Flanque* der Schotten - *Bastion* wurde eine 12 Fuß lange, 18 Fuß hohe trockene Ziegelmauer aufgeführt, welche auf einem in Mörtel gelegten Fundamente ruhte,

dem man, obwohl der Grund in der Tiefe von 3 Fuß aus festem Lehm bestand, doch noch zur größeren Versicherung der Unwandelbarkeit der Grundlage, eine Unterlage von Pfosten gab. Die umzuwerfende Mauer wurde ohne äußere und innere Dossirung ganz *vertical* aufgeführt, und ihre Stärke hier nach dem durch die Versuche gefundenen Druck der lockeren Erde berechnet; sie betrug 4', 2. Die hierzu verwendeten Ziegeln waren ganz neu von dem *Fortifications* - Ziegelschlage; man hatte die Marken derselben abhauen lassen, um ihnen ein festeres Auflager zu verschaffen.

Die Seitenmauern, um die Erde zu halten, wurden von alten Ziegeln dergestalt aufgeführt, daß sie nur die hinterste Kante der umzuwerfenden Mauer berührten, und dieser gestatteten, sich zu bewegen, ohne daß eine Reibung an den Seiten Statt finden konnte. Diese Seitenmauern wurden noch um 6' höher, also 24' hoch aufgeführt, jedoch nach vorne zu mit einer Böschung von 45° , um die Anschüttung so lange erheben zu können, bis die Mauer umzustürzen genöthiget war.

Zur Anschüttung wurde die Erde des *Tenaillons* verwendet, eine reine Dammerde, so wie jene, welche zu den Versuchen verwendet worden war.

Ein Kubik-Fuß derselben hatte im Gewichte = 67 Pfund.

Der natürliche Neigungswinkel dieser Erde wurde mit 39° gefunden, hieraus ergibt sich der Schüttwinkel α mit 51° .

Ein Kubik-Fuß trockener Mauer, so gelegt wie die Fugen sich gestalten, wiegt = 76, 43 Pfund.

Am 27^{ten} May wurde das Fundament gemauert.

Am 28^{ten} und 29^{ten} war die Mauer sammt den beyden Seitenmauern auf 18' Höhe fertig, und rückwärts derselben, jedoch um 3 Fuß von dem Fusse der Mauer abstehend, die Erde locker angeschüttet und mit Staffeln versehen.

Am 30^{ten} waren, um die Anschüttung so schnell als möglich zu vollenden, Gerüste und Laufbrücken vorbereitet worden, wovon die ersteren eine Höhe von 27 Fuß über den Fuß der Mauer hatten. Von diesen Gerüsten herab wurde die lockere Erde auf die am vorigen Tage vorbereitete Abdachung geschüttet, und lagenweise mit Rechen ausgeglichen, jedoch so, daß von den hierzu bestimmten Arbeitern keiner das *Prisma* des größten Druckes betreten durfte.

Die Anschüttung wurde um 6 Uhr Früh mit 120 Mann begonnen, und um 9 Uhr bis zur Höhe von 18' beendet.

So wie die Anschüttung auf diese Art die Höhe von 12' erreicht, und von da aus unter dem natürlichen Neigungswinkel eine Höhe von 18' hatte, neigte sich die ganze Mauer etwas vorwärts.

Die Abweichung von der *Verticalen* betrug oben 0',05.

Als die Anschüttung bis auf die Mauerhöhe ausgeglichen war, betrug die Abweichung oben 0',46.

Die Neigung der Mauer ging von dem Fundamente aus in gerader Linie, es war nirgends eine Ausbauchung oder ein Bruch zu entdecken. Die vorderen oder äußeren Fugen waren fest geschlossen, dagegen die hinteren etwas geöffnet; diesem Umstande, der bey einer trockenen Mauer nicht zu vermeiden ist, kann die etwas frühere und dann auch stärkere Neigung zugeschrieben werden. Dafs sich aber die Mauer neigte, als die Anschüttung die bestimmte Höhe erreicht hatte, ist ein Beweis, dafs sie wirklich nicht stärker war, als um gerade dem Drucke das Gleichgewicht halten zu können.

In dieser Lage liefs man die Mauer von 9 Uhr Vormittags bis um 5 Uhr Nachmittags stehen. Die obere Abweichung betrug um diese Stunde 0',6, die Setzung der ganzen Erdmasse 0',5.

Um 5 Uhr wurde mit der Ueberhöhung angefangen, 120 Mann waren hierzu in Bereitschaft, welche die Anschüttung dergestalt herstellten, dafs sie lagenweise empor stieg.

Nach Mafs, als die Anschüttung höher wurde, neigte sich auch die Mauer immer mehr; die Abweichung von der *Verticalen*, oben gemessen, betrug bey 1',0 Ueberhöhung 0',7.

» 2,0 » 0,8.

» 2,5 » 0,9.

» 3,0 » 1,0.

» 3,5 » 1,1.

» 4,0 » 1,5.

Bey 4',5 Ueberhöhung erfolgte der Umsturz; die vordere Kante der am Fusse der Mauer liegenden Ziegeln war schon nach und nach zerdrückt worden, und zwar, wie die Zeichnung zeigt, bis auf 2 Zoll einwärts; die Mauer fiel in einem Stücke, indem sie sich um die vordere unterste Kante

drehte, ohne eine Ausbauchung und ohne einen Bruch zu bekommen blieb sie beysammen, bis sie die Erde berührte. An der inneren Seite blieb ein Mauer-*Prisma* stehen, welches sich nach den Schmatzen an den beyden Seiten unter einem Winkel von 45° abgetrennt hatte, in der Mitte der Mauer war dieser Winkel kleiner.

Die Grundlinie des *Prismas* vom größten Drucke war im Durchschnitte 10',77 übereinstimmend mit den Versuchen, und mit *Prony's Theorie*, welche unter gleichen Umständen 10',73 gibt.

Seine kaiserliche Hoheit der *General-Genie-Director Erzherzog Johann*, geruheten diesen Versuch mit höchst Ihrer Gegenwart zu beehren; in der Begleitung Seiner kaiserlichen Hoheit befanden sich der *General-Feldmarschall-Lieutenant v. Benczur* vom *Genie-Hauptamte*, *General-Major v. Schall Fortifications-Districts-Directeur* zu Wien, *General-Major Graf Morczin General-Adjutant* Seiner kaiserlichen Hoheit, *Ingenieurs-Oberst v. Vasy Professor* der höheren *Geometrie* in der k. k. *Ingenieurs-Akademie*, *Ingenieurs-Oberst De Taux Directeur* des *Genie-Archivs*, *Ingenieurs-Oberst Kutzer Fortifications-Districts-Directeur* zu Ofen, *Ingenieurs-Oberst-Lieutenant v. Brasseur Professor* der *Mechanik* an der k. k. *Ingenieurs-Akademie*, *Ingenieurs-Major Baron Hauser Professor* der *Befestigungskunst* an der k. k. *Ingenieurs-Akademie*, *Ingenieurs-Major Vacani* vom *Genie-Hauptamte*, *Ingenieurs-Major Statzer* vom *Genie-Hauptamte*, *Ingenieurs-Major Weisz Professor* der *Baukunst* an der k. k. *Ingenieurs-Akademie*, der Herr *Wasserbau-Director v. Kudriaffsky*, nebst mehreren hier anwesenden *Ingenieurs-Officieren*.

Die schönste Witterung begünstigte diesen Versuch, zu dessen Ausführung vier volle Tage erforderlich gewesen waren.

B. Fest gestossene Dammerde.

a) Im staubtrockenen Zustande.

1^{te}ns. Erhebung des Druckes.

Zwey und zwanzigster Versuch am 18^{ten} May.

Plan 10.

Die zu diesem Versuche bestimmte Dammerde war staubtrocken, man fand das Gewicht im lockeren Zustande für einen Kubik-Fuß mit 80,5 Pfund. Sie wurde in 12" hohen Lagen in den Kasten geworfen, gut ausgeglichen, und so gut als möglich gestossen. Jede der 12 Zoll hohen Lagen wurde

durch das fortgesetzte Stossen auf 10 Zoll vermindert; weiter liefs sich die Verdichtung dieser Erde nicht bringen, denn sie begann sich bey weiterem Stossen an der Oberfläche in Schuppen abzulösen.

Da ein Kubik-Fufs Erde im lockeren Zustande 80,5 Pfund gewogen hatte; so mußte ein Kubik-Fufs dieser Erde, auf 10 Zoll zusammen gestossen, noch immer 80,5 Pfund wiegen, und daher das Gewicht eines auf die beschriebene Art verdichteten Erdkörpers für jeden Kubik-Fufs 96,6 Pfund betragen.

Als die Anschüttung auf diese Art beendigt worden war, und keinen Druck gegen das Kastenthor ausübte, wurde dasselbe herab gelassen. Die Erde erhielt sich vollkommen vertical; man liefs sie so frey durch 60 Stunden stehen, und als man auch nach dieser Zeit nicht die mindeste Veränderung bemerkt hatte, wurde der vordere Rand der Anschüttung auf eine Breite von 3 Fufs mit Bretstücken belegt, und auf diese, ohne das Thor zu schliessen, 4400 Pfund Bleygewichte langsam aufgelegt.

Die Anschüttung ertrug auch diese Belastung, jedoch neigte sie sich um 1 Linie auswärts. Man liefs sie nun so durch 8 Stunden stehen, und da auch dann noch keine weitere Veränderung in der angenommenen Neigung der Anschüttung zu bemerken war, wurde die Belastung abgenommen.

In einem hölzernen Mafse von ein Kubik-Fufs Inhalt wurde die nämliche Erde so fest als möglich gestossen, sie wog dann $96\frac{1}{4}$ Pfund, war also nicht ganz so dicht als die in dem grofsen Kasten gestofsene, eine Folge der Unbequemlichkeit des Stossens in dem kleinen Gefäfse.

2^{ten}. Erhebung der *Cohaesion* fest gestofsener staubtrockener Dammerde.

Sechs und zwanzigster Versuch am 11^{ten} Junius.

Da der 22^{te} Versuch über die *Cohaesion* trockener Dammerde, welche dieselbe durch Stossen ohne Befeuchtung erlangen kann, keine vollständige Aufklärung gab, so mußte der Versuch auf eine andere Art eingeleitet werden. Der Apparat zur Erhebung der Reibung hatte schon früher einen Zusatz erhalten, welcher in der Absicht, damit Versuche über die *Cohaesion* anzustellen, angeordnet worden war, und in dem zweyten Abschnitte unter IV beschrieben worden ist.

Der obere kleine Kasten dieses Apparates war

lang 1',25	}	0,625 Kubik-Fuß.
breit 1,00		
hoch 0,50		

Es war daher um 0',25 kürzer als die Erhöhung auf der Tafel, und konnte um diese Länge horizontal verschoben werden. Die lockere staubtrockene Erde, welche zu dem Versuche verwendet werden sollte, wurde gewogen, und gefunden, daß ein Kubik-Fuß 79,56 Pfund wiege.

Die Erhöhung auf der Tafel wurde zuerst mit Erde gefüllt, und diese fest gestossen, dann der Kasten aufgesetzt, die Oberfläche der gestossenen Erde da, wo der Kasten stand, aufgekratzt, und sonach der ganze Kasten mit trockener Erde voll angestossen. In die Wagschale wurden dann so lange Schrote geschüttet und Gewichte geladen, bis die *Cohaesion* sammt der Reibung überwunden war.

Die *Cohaesion* sammt der Reibung erforderten zu ihrer Ueberwindung mit Einschluss des Gewichtes der Wagschale 164 Pfund.

Die Reibung allein wurde sodann überwunden mit 43 „

Abgezogen verbleibt für die *Cohaesion* auf der unteren Fläche des Kastens von 1,25 Quadrat-Fuß 121 Pfund.

Unsere Dammerde, im trockenen Zustande und ohne Befeuchtung gestossen, ist demnach im Stande eine *Cohaesion* anzunehmen, welche auf einen Quadrat-Fuß beträgt 96,8 Pfund.

Der in dem oberen kleinen Erdkasten enthaltene Erdkörper wog 56,2 Pfund, und weil dieser Kasten 0,625 Kubik-Fuß mißt; so wiegt ein Kubik-Fuß so gestossener Erde = 89,92 Pfund.

b) Erhebung der *Cohaesion* natürlich feuchter fest gestossener Dammerde, und Widerstand einer trockenen Ziegelmauer gegen eine gleich hohe Anschüttung dieser Art.

Neun und vierzigster Versuch am 17^{ten} September.

Großer Versuch mit fest gestossener Dammerde.

Plan 12. Dieser Versuch wurde in der Absicht unternommen, um die Richtigkeit der Theorie auch für den Fall zu prüfen, wenn die *Cohaesion* in Rech-

nung gebracht wird; nicht minder war es wichtig dadurch zu erheben, ob unsere Methode die *Cohaesion* fest gestossener Erde zu finden, welches geschieht, indem man die *Cohaesion* auf einen Quadrat-Fuß sucht, mit den Erscheinungen im Großen nahe genug übereinstimme, um als verlässlich anerkannt werden zu können.

Nachdem der 22^{te} Versuch übereinstimmend mit der erhobenen *Cohaesion* der Dammerde bewiesen hatte, daß diese Erde, vollkommen trocken und gut gestossen, sich auf eine Höhe von 11 Fuß *vertical* erhalte, so konnte der beabsichtigte Versuch nur im Freyen vorgenommen werden.

Zu diesem Ende wurde der nämliche Raum benützt, welcher zu dem 23^{ten} Versuche war vorbereitet worden, wo man sowohl das Fundament, als auch die beyden aus trockenen Ziegeln hergestellten Seitenwände hatte stehen gelassen; auch wurde zu diesem Versuche die nämliche Erde verwendet, welche bey dem 23^{ten} Versuche im lockeren Zustande gewirkt hatte.

Um Zeit für den Versuch selbst zu gewinnen, wurde vorläufig der rückwärtige Raum von der festen Erde des *Tenailons* bis auf 3' von dem inneren Rande des Fundamentes entfernt, auf die Höhe von 18 Fuß mit einer fest gestossenen Anschüttung angefüllt, welcher man gegen die künftig aufzuführende Mauer eine in Staffeln abgesetzte Böschung von $\frac{1}{4}$ der Höhe zur Anlage gab.

Die Anschüttung wurde lagenweise gemacht; jede Lage war 1 Fuß hoch locker angeschüttet, und auf 9 Zoll Höhe zusammen gestossen.

Als am 13^{ten} Morgens die Anschüttung schon so weit vorgerückt war, daß man hoffen konnte, bis Nachmittag damit zu Stande zu kommen, schritt man zu der Erhebung des Gewichtes der Erde, der natürlichen Böschung und der *Cohaesion*, welche diese Erde durch das lagenweise Anstoßen anzunehmen fähig ist. Die Vorsicht, diese Erhebungen nicht früher vorzunehmen, als bis man hoffen konnte, den Versuch in wenigen Tagen zu beenden, war nothwendig, weil ein Regen, welcher möglicher Weise dazwischen hätte eintreten können, frühere Erhebungen dieser Gegenstände ganz unnütz gemacht haben würde. Aus eben dem Grunde wurde auch von diesem Tage an jeden Abend sowohl die bereits hergestellte Mauer und Erdanschüttung, als auch die im Vorrathe liegenden Ziegeln und Erdhaufen

mit Pfosten gut gedeckt. Um das Gewicht zu erheben, wurden 20 Kubik-Fuß der zu dem Versuche bestimmten lockeren Dammerde genau gewogen; hieraus ergab sich das Gewicht eines Kubik-Fußes im Durchschnitte mit 70,75 Pfund. ($p = 70,75$ Pfund).

Die natürliche Böschung wurde in dem kleinen Erdkasten erhoben, man fand den Winkel, welchen die natürliche Böschung mit dem Horizonte bildet $= 42\frac{1}{2}^\circ$, und folglich den Schüttwinkel $a = 47\frac{1}{2}^\circ$. ($\text{Tang. } \frac{1}{2} a = 0,439$, $\text{Tang.}^2 \frac{1}{2} a = 0,193$).

Einige Schubkarren voll von der nämlichen Erde wurden sodann zu dem Apparate in die Experimenten-Hütte geführt, um dort die *Cohaesion* der gestossenen Erde zu suchen. Sie wurde auf die schon beschriebene Art erhoben, und gefunden: daß

die *Cohaesion* sammt Reibung überwunden wurde mit . . . 191 $\frac{1}{4}$ Pfund.

Die Reibung wurde gefunden . . . 66 »

Cohaesion auf 1,25 Quadrat-Fuß = . . . 125 $\frac{1}{4}$ Pfund.

Mithin die *Cohaesion* auf 1 Quadrat-Fuß = 100 Pfund. ($c = 100$ Pfund).

Von der fest gestossenen Erde hatte 1 Kubik-Fuß gewogen 94,40 Pfund, und weil ein Kubik-Fuß lockerer Erde wiegt . . . 70,75 »

so betrug die Verdichtung . . . 23,65 Pfund,

welche man nahe erhält, wenn eine 12 Zoll hohe lockere Lage auf 9 Zoll zusammen gedrückt wird.

Das Gewicht der aufzuführenden trockenen Ziegelmauer konnte man ganz nach der Erhebung bey dem 23^{ten} Versuche annehmen, da dieses Mahl auch wieder ganz neue Ziegeln vom fortificatorischen Ziegelschlage verwendet wurden.

Das Gewicht von 1 Kubik-Fuß dieser Mauer, so gelegt, wie die Fugen sich ergaben, wurde damahls erhoben mit 76,43 Pfund. ($\pi = 76,43$ Pfund).

Nachdem alle Daten für die Berechnung erhoben waren, wurde, da man beschlossen hatte, eine auf beyden Seiten *verticale* trockene Ziegelmauer aufzuführen, und die Anschüttung mit der Mauer gleich hoch, beyde aber 18 Fuß hoch zu machen, das Moment des Erddruckes nach der Formel (17) berechnet, nach welcher

$$M = \frac{1}{2} p. \text{Tang.}^2 \frac{1}{2} a \left(\frac{1}{3} (h - h')^2 (h + \frac{1}{2} h') \right) \text{ ist.}$$

$h' = 12,87'$ auf c
 $h = 18'$

Und wenn man die Werthe substituirt:

$$M = 1459,2733 \text{ wird.}$$

Nennt man die Dicke der auf beyden Seiten verticalen Mauer x , und das Moment des Widerstandes derselben M' , so hat man

$$M' = \frac{1}{2} \pi h x^2.$$

Statt π und h die Werthe gesetzt

$$M' = 687,87 x^2.$$

Für den Stand des Gleichgewichtes ist daher

$$687,87 x^2 = 1459,2733.$$

$$x^2 = 2,12.$$

$$x = 1',46.$$

Hiernach wurde die Mauerdicke 1',5 stark angelegt, und am 13^{ten} Nachmittags um 4 Uhr die Aufführung der trockenen Mauer begonnen.

Als man mit der Aufmauerung 3 Fuß hoch gekommen war, wurde die lagenweise Anschüttung und Anstofsung angefangen, indem, wie früher die lockere Erde 1 Fuß hoch aufgeschüttet, und sodann auf 9 Zoll Höhe zusammen gestossen wurde.

Es zeigte sich, daß die Mauer der Gewalt, mit welcher gestossen wurde, gewichen war, denn sie hatte sich schon oben um 3 Linien auswärts geneigt; man ließ daher die Hälfte der schon verfertigten Mauer abtragen, die angestossene Erde vertical abstechen, und beschloß, die Mauer dergestalt fortzuführen, daß erst, wenn dieselbe 6 Fuß hoch aufgeführt worden seyn würde, die Anstofsung weiter fortgesetzt werden solle, um auf diese Art eine Ueberwucht gegen den Stofs zu erzielen. Allein es zeigte sich, daß auch diese Vorsicht noch nicht hinreichend war, denn diese Mauer, welche bey einer Höhe von mehr als 12 Fuß nicht mehr die Stabilität einer frey stehenden in Mörtel gelegten Mauer hatte, hatte sie trocken aufgeführt um so weniger, und wurde am 14^{ten} selbst durch einen eben nicht heftigen Wind sichtbar bewegt. Um daher die Anschüttung vollenden zu können, sah man sich genöthiget, die Mauer stützen zu lassen, was mit drey aufrecht stehenden Pfosten, an welche zwey Reihen schiefe Stützen angesetzt wurden, bewerkstelliget wurde; die erste Reihe der Stützen wurde auf eine Höhe von 6 Fuß vom Grunde, die zweyte auf eine Höhe von 12 Fuß angestemmt, jedoch nicht verkeilt. Durch dieses Hülfsmittel gelangte man,

da am 15^{ten} ein Sonntag fiel, erst am 17^{ten} Abends um 5 Uhr zur Vollendung der Mauer und der gestossenen Anschüttung.

Die Stützen wurden nunmehr vorsichtig weggenommen. Die Mauer blieb von dem Fundamente an bis auf 6',65 vertical stehen, von hier an neigte sie sich nun auswärts, so, daß die Abweichung oben bey 18 Fuß Höhe gemessen 0',15 betrug, in dieser Lage blieb sie unverändert. Die Erde hatte sich gar nicht gerückt, war aber, weil die obersten Ziegel trotz der Pölzung bey dem Anstoßen etwas gewichen waren, 3' tief von oben herab gerechnet, um 0',05 vorwärts geneigt, so, daß zwischen der Mauer und der Erde von oben herab auf 11',35 ein leerer Raum von 0',1 oberer Breite blieb, durch welchen man von der Seite der Mauer der Länge nach durchsehen konnte.

Auf der Höhe der Anschüttung bildete sich zugleich ein quer durchlaufender Riß, welcher von der inneren Seite der Mauer 8',00 entfernt, und höchstens eine Linie breit war.

Der Umstand, daß die Mauer zwar dem Drucke gewichen war, ohne jedoch eine bedeutende Neigung anzunehmen, oder gar umzufallen, hat offenbar den Beweis geliefert, daß das Gleichgewicht wirklich bestanden habe, und daß daher nicht nur die Theorie richtig sey, sondern auch alle Daten, und besonders die *Cohaesion* vollkommen genau erhoben worden seyen.

Um hiervon noch eine Ueberzeugung auf einem anderen Wege zu erhalten, beschloß man am folgenden Tage zu erheben: bis auf welche Höhe sich die so angestossene Erde in verticaler Lage erhalten würde. Nachdem daher die Mauer, ohne sich weiter zu verrücken, bis 6 Uhr, also eine ganze Stunde lang gestanden hatte, wurden die Stützen wieder angesetzt, um sie während der Nacht zu versichern, da sie leicht durch den Wind hätte umgeworfen werden können.

Fünzigster Versuch am 18^{ten} September.

Flan 12.

Man hatte ein leichtes Gerüste vorbereiten lassen, an welches sich jedoch die Mauer nicht anlehnen konnte, um sie von oben herab lagenweise abtragen zu können. Die Stützen der Mauer wurden entfernt, und mit dem Abtragen derselben fortgefahren, bis man, von oben herab gemessen, auf 12',85 gekommen war. Hier wurde ein Stillstand von $\frac{1}{4}$ Stunde gemacht,

um zu beobachten, ob die Erde sich noch halten würde. Der Rifs auf der Oberfläche vergrößerte sich in dieser Zeit, und es zeigten sich näher gegen die Außenseite noch einige unbedeutende kleine Risse, auch neigte sich die Erde vorwärts, so, daß die Abweichung von der *verticalen*, oben gemessen, 0', 15 betrug; allein sie blieb hier stehen. Man ließ hierauf noch eine Lage Ziegeln abtragen; kaum war dieß geschehen, als ein Stück Erde unten in der Mitte einstürzte, diesem folgten nach und nach einige kleine Stücke, der ganze obere Theil der Anschüttung neigte sich langsam, jedoch sichtbar vorwärts, und nach ungefähr 10 Minuten stürzte die Anschüttung ein, indem sie sich, wie in dem Plane angemerkt ist, von der hinteren Anschüttung los rifs.

Die *Cohaesion* der gestossenen Erde wurde in unserem Apparate mit 100 Pfund auf jeden Quadrat-Fuß erhoben: man findet demnach die Höhe, bis zu welcher sie sich *vertical* zu erhalten vermag, und zwar für den Stand des Gleichgewichtes mit 12', 878 (*Formel 9*).

Nun hat zwar die Anschüttung bey 12', 85 sich schon etwas zu neigen angefangen, man muß jedoch bemerken, daß sie schon anfänglich etwas vorgeneigt war, und daher dem Einsturze weniger zu widerstehen vermochte, als wenn sie ganz *vertical* gewesen wäre.

Wenn man aber auf diesen Umstand und den ohnedieß so geringen Unterschied von $\frac{28}{1000}$ Rücksicht nimmt; so wird man alle Ursache haben, die vollständige Uebereinstimmung der Erscheinungen in der Anwendung mit den Resultaten der Theorie und den erhobenen Werthen für das Gewicht die natürliche Böschung und die *Cohaesion* anzuerkennen.

Während den Vorbereitungen sowohl als auch während der Ausführung der beyden Versuche hatte man das Glück, von der schönsten Witterung begünstiget zu werden, so, daß also keinerley Störungen eintraten, und die Erhebung vollkommen rein bewirkt werden konnte.

Zweyte Reihenfolge.

Sand.

1^{ens}. Natürlich feuchter Sand.

Der zu den Versuchen bestimmte Sand wurde aus dem Wienflusse, und zwar aus der Nähe von Baumgarten herbeygeführt.

Es ist ein reiner Kiessand, der keine Erdtheile enthält und kleinkörnig ist. Er war durch 6 Wochen im Freyen, aber mit einem Ladendache bedeckt aufbewahrt worden; indessen zeigte es sich doch am 13^{ten} Junius, daß er im Inneren noch so feucht sey, als er zur Zeit der Zuführung es gewesen war.

Sieben und zwanzigster Versuch am 13^{ten} Junius.

Die natürliche Böschung dieses etwas feuchten Sandes wurde in dem kleinen 3' hohen Kasten erhoben, und die Anlage bey 3' Höhe mit 3',49 gefunden.

Dies gibt den Neigungswinkel mit 41° ,
und den Schüttwinkel mit 49° .

N^{ro}. 1. Ein Kubik-Fuß dieses Sandes wiegt 92,75 Pfund.

"	2.	"	"	"	"	"	91,25	"
"	3.	"	"	"	"	"	95,50	"
"	4.	"	"	"	"	"	90,63	"
"	5.	"	"	"	"	"	93,00	"
"	6.	"	"	"	"	"	91,50	"
"	7.	"	"	"	"	"	93,43	"
"	8.	"	"	"	"	"	93,13	"
"	9.	"	"	"	"	"	93,80	"
"	10.	"	"	"	"	"	93,60	"

Summe 928,59 Pfund.

Ein Kubik-Fuß wiegt im Durchschnitte = 92,859 Pfund.

Acht und zwanzigster Versuch am 15^{ten} Junius.

Plan 14.

Zehn Kubik-Fuß von dem durch zwey Tage unter Dach aufbewahrten Sande wurden gewogen und erhoben, daß Ein Kubik-Fuß im Durchschnitte wiegt = 95,1 Pfund.

Der Kasten wurde damit ganz gefüllt, und zwar lagenweise.

Die Bruchlinie bildete sich auf 3',395 von der inneren Thorwand entfernt, das Prisma fiel auf diese Entfernung rein ab, und der Sand erhielt sich eine kurze Zeit.

Das abgefallene *Prisma* hat gewogen 2900,5 Pfund.

Die Wirkung auf der Wagschale erhoben betrug 1162 Pfund.

Man ließ hierauf den Sand vollkommen austrocknen, und stellte vier Versuche damit an, welche hier am Schlusse aufgeführt werden sollen.

Hierauf wurde aller Sand aus der Experimenten-Hütte entfernt, und im Freyen ohne Bedachung in eine Figur aufgeschüttet. Es folgten darauf die Versuche mit geschlemmtem Lehm von dem k. k. *Fortifications*-Ziegelschlage, nämlich die Versuche 29 bis 34; nach Beendigung derselben am 17^{ten} August wurde der Sand am 22^{ten} August abermahls den Versuchen unterworfen, und zwar zuerst in dem Zustande von Feuchtigkeit, in welchen er von der größten Austrocknung an der Luft durch Liegen im Freyen vom 26^{ten} Junius bis 22^{ten} August gekommen war, und dann in vollkommen mit Wasser gesättigtem Zustande. Bey jedem Versuche wurde die natürliche Böschung und die *Cohaesion* erhoben, von deren Daseyn man sich selbst bey dem ganz trockenen Sande überzeugt hatte.

Fünf und dreyßigster Versuch am 23^{ten} August.

Die natürliche Böschung wurde in dem großen Erdkasten erhoben, Plan 14. und gefunden, daß die Anlage bey 6' Höhe = 7',23 ist.

N^{ro}. 1. Ein Kubik-Fuß wiegt 95,00 Pfund.

» 2. » » » » 94,00 »

» 3. » » » » 93,50 »

» 4. » » » » 93,75 »

» 5. » » » » 94,00 »

» 6. » » » » 94,50 »

» 7. » » » » 93,34 »

» 8. » » » » 95,75 »

» 9. » » » » 93,56 »

» 10. » » » » 94,25 »

Summe 941,65 Pfund.

Ein Kubik-Fuß wiegt daher im Durchschnitte 94,165 Pfund.

Die Anlage der natürlichen Böschung war bey 6 Fuß Höhe = 7',23.

(Anlage der natürlichen Böschung für die Höhe h ist = 1,205. h).

Als das Thor des Kastens zu weichen begann, und der Gewichtskasten um etwa 2 Linien verschoben worden war, zeigte sich auf der Oberfläche der Anschüttung die Bruchlinie deutlich, und es war außer ihr sonst kein


 $\beta = 39^\circ 41'$

1.0000 / 0.82
 1.205
 9640
 7600
 1205
 2410
 11900
 1205
 10845
 10550
 1205

Sprung zu bemerken; bey dem 28^{ten} Versuche war sie nicht so gut zu erkennen gewesen, sondern mußte erst durch Nachlassen des Thores erhoben werden, wodurch man sie vielleicht etwas zu weit rückwärts gefunden haben mag.

Die Entfernung dieses Risses von der äußeren Kastenwand betrug 2',5.

Während dem Herablassen des Thores zeigten sich schnell mehrere Risse hinter einander, und es fiel fast Alles bis auf die natürliche Böschung ab.

Die Wirkung wurde auf der Wagschale erhoben mit 1098,625 Pfund.

In dem kleinen 3' hohen Erdkasten wurde hierauf von dem bey dem Versuche gebrauchten Sande eine 0',5 hohe Lage locker aufgeschüttet, und versucht, denselben *vertical* abzustechen, was jedoch nicht gelang. Die Höhe der Lage wurde sodann auf 0',45 vermindert; mit vieler Vorsicht nur konnte man es dahin bringen, daß ein Theil der 3' breiten Anschüttung sich auf dieser Höhe *vertical* erhielt.

Hierauf wurde der Sand 3' hoch in dem Kasten aufgeschüttet, und nach der steilsten Ebene abgestochen, auf welcher er sich noch zu erhalten vermochte. Man fand die Anlage dieser steilsten Böschung bey der Höhe 3' mit 2'. Unter dieser Neigung erhielt sich der Sand, allein bey dem geringsten Versuche ihn noch steiler abzuböschten, stürzte sogleich die ganze Anschüttung ein.

Durch diese Versuche ist daher das Daseyn der *Cohaesion* im etwas feuchten Sande erwiesen, und ihr Werth gefunden.

Sechs und dreyßsigster Versuch am 23^{ten} August.

Plan 14.

Der Versuch wurde mit dem nämlichen Sande angestellt, dessen Gewicht unverändert geblieben war, 1 Kubik-Fuß nämlich wog 94,165.

Die Bruchlinie zeigte sich abermahls deutlich auf 2',8 von der inneren Thorwand entfernt; das Uebrige stürzte bey dem Herablassen des Thores nach, ganz wie bey dem vorigen Versuche.

Die Anlage der natürlichen Böschung war bey 6 Fuß Höhe = 7,20. (Anlage der natürlichen Böschung = 1,200. *h*).

Die Wirkung wurde auf der Wagschale erhoben mit 1117 Pfund.

So wie in dem vorher gegangenen Versuche beschrieben wurde, ward die *Cohaesion* auch dießmahl, einmahl durch *verticales*, das anderemahl

durch Abstechen nach einer schiefen Ebene gefunden, und ganz dieselben *Resultate* erhoben.

Vertical hielt sich der Sand auf 0',45 Höhe, die Anlage der steilsten Böschung, nach welcher derselbe abgegraben werden konnte, ohne einzustürzen, war auf 3' Höhe = 2'.

2^{tes}. Mit Wasser gesättigter Sand.

Sieben und dreyßigster Versuch am 24^{ten} August.

Ein Gefäß von 1 Kubik-Fuß Inhalt wurde von dem bey den vorher Plan 14. gegangenen Versuchen verwendeten Sande gefüllt, und dann langsam so lange Wasser nachgeschüttet, bis derselbe keines mehr aufnahm, sondern das Wasser obenauf stehen blieb. Das Wasser hatte nun alle Zwischenräume des Sandes ausgefüllt, und wurde durch die *Adhaesion* auch einigermaßen an den Sandtheilen fest gehalten. Aus der Menge des auf die Sättigung eines Kubik-Fusses verwendeten Wassers ließ sich beurtheilen, wie viel davon zur Sättigung der ganzen Anschüttung in dem großen Erdkasten erforderlich seyn würde; man fand, daß hierzu 18 Eimer nöthig seyen, wenn der schon etwas feuchte Sand auf das Höchste durchnäßt werden soll, ohne jedoch in flüssigen Zustand überzugehen.

Die Anschüttung wurde lagenweise hergestellt, und jede Lage mit der entsprechenden Wassermenge mit Gießseimern befeuchtet.

Die Anlage der natürlichen Böschung war bey 6 Fuß Höhe = 6',7. (Anlage der natürlichen Böschung = 1,116. *h*).

So wie der Gewichtskasten zu weichen begann, zeigte sich die Bruchlinie vollkommen deutlich bey 2',7 von der inneren Thorwand entfernt. Während dem Herablassen des Thores entstanden zuerst schnell hintereinander mehrere Risse, und der Sand fiel nach und nach beynahe bis an die natürliche Böschung nach.

Ein Kubik-Fuß hat im Durchschnitte gewogen = 110,15 Pfund.

Ein Kubik-Fuß *natürlich feuchten* Sandes, welcher im Durchschnitte 94,165 Pfund wiegt, nimmt daher bis zur vollkommenen Sättigung 15,985 Pfund Wasser auf.

Die Wirkung wurde auf der Wagschale erhoben mit 1044 Pfund.



Handwritten calculations and a small diagram. The diagram shows a triangle with a horizontal base and a vertical height, and a diagonal line representing the slope. The calculations are as follows:

$$\begin{array}{r} 1.0000 \\ 1.116 \overline{) 8928} \\ \underline{8928} \\ 0 \end{array}$$

Below this, there is a calculation for the weight of the sand and water:

$$\begin{array}{r} 10720 \\ 1116 \overline{) 10044} \\ \underline{10044} \\ 6760 \\ 1116 \overline{) 6760} \\ \underline{6760} \\ 0 \end{array}$$

The final result is 1240.

Dieser so durchnäßte Sand zeigte eine starke *Cohaesion*, sie wurde durch Abstecken nach einer *verticalen*, und dann auch nach einer schiefen Ebene erhoben.

Vertical liefs er sich nur auf die Höhe 0',9 abstecken ohne einzufallen, aber nicht höher.

Die Anlage der steilsten Böschung, bis zu welcher sich derselbe, ohne einzustürzen, abstecken liefs, war bey 3' Höhe = 1',5.

3^{ten}. Vollkommen trockener Sand.

Acht und dreyßigster Versuch am 25^{ten} Junius.

Plan 15.

Der Sand wurde auf einer grossen Fläche höchstens 3 Zoll hoch ausgebreitet, und so der Sonnenhitze mehrere Tage lang ausgesetzt, auch des Tages öfters umgeschauelt.

Ein Kubik-Fuß dieses trockenen Sandes hat im Durchschnitte gewogen 98,6 Pfund.

Die Anlage der natürlichen Böschung war bey 6 Fuß Höhe = 7',88. (Anlage der natürlichen Böschung = 1,313. $\frac{1}{2}$).

Bey Verrückung des Gewichtskastens und des Thores erfolgten schnell zwey Risse hinter einander, der erste auf 4',4, der zweyte 5',0 von der inneren Thorwand entfernt.

Die Wirkung auf der Wagschale wurde erhoben mit 1512 Pfund.

Neun und dreyßigster Versuch am 25^{ten} Junius.

Plan 15.

Der Versuch wurde mit dem nähmlichen Sande wiederholt, und zu diesem Ende der ganze Kasten geleert und frisch gefüllt.

Nach erfolgter Verrückung des Thores und des Gewichtskastens zeigten sich abermahls schnell hinter einander zwey Risse, der erste bey 3',5, der zweyte bey 4',1 von der inneren Thorwand entfernt.

Die Anlage der natürlichen Böschung war nicht beobachtet worden.

Die Wirkung wurde auf der Wagschale gefunden mit 1462 Pfund.

Vierzigster Versuch am 25^{ten} Junius.

Plan 15.

Der Versuch wurde mit dem nähmlichen Sande wiederholt, indem man den Kasten ganz frisch füllte.

Die Anlage der natürlichen Böschung wurde nicht erhoben.

Das Gewicht war unverändert geblieben.

Nach erfolgter Verrückung des Gewichtskastens und des Thores zeigten sich mehrere Risse hinter einander, nämlich auf 3',6, 4',1, 4',77 und 5',5 von der inneren Seite der Thorwand entfernt.

Die Wirkung auf der Wagschale beobachtet betrug: 1482 Pfund.

Ein und vierzigster Versuch am 25^{ten} Junius.

Der Versuch wurde mit dem nämlichen Sande angestellt, dessen Plan 15. Gewicht unverändert geblieben war.

Die Anlage der natürlichen Böschung war auf 6' Höhe = 8',05. (Anlage der natürlichen Böschung = 1,341. *h*).

Nach erfolgter Verrückung des Gewichtskastens und des Thores waren folgende Risse auf der Oberfläche der Anschüttung bemerkbar, nämlich: auf 3',5, 4',0 und 4',5 von der inneren Thorwand entfernt.

Die auf der Wagschale beobachtete Wirkung betrug: 1262 Pfund.

Erhebung der Cohesion des vollkommen trockenen Sandes im lockeren Zustande.

Die Erhebung der *Cohesion* des vollkommen trockenen Sandes wurde bey jedem der vorher gegangenen Versuche in dem großen Erdkasten durch das Abstechen nach der steilsten Ebene, in welcher sich der Sand noch zu erhalten vermochte, vorgenommen. Alle Versuche, ihn vertical abzusteichen, waren fruchtlos geblieben.

In dem 38^{ten} Versuche war das Gewicht eines Kubik-Fuß Sandes = 98,6 Pfund, die steilste Böschung war bey 6 Fuß Höhe = 5',0; die Anlage der natürlichen Böschung war bey der gleichen Höhe = 7',88.

In dem 39^{ten} Versuche war das Gewicht eines Kubik-Fuß Sandes = 98,6 Pfund; die steilste Böschung war bey 6' Höhe = 4',1; die Anlage der natürlichen Böschung kann bey der gleichen Höhe zu 7',88 angenommen werden, weil dieselbe in dem 41^{ten} Versuche, wo sie abermahls erhoben worden war, 8',05 betragen, also sich durch vier Versuche nur um 0',17 geändert hatte.

In dem 40^{ten} Versuche war das Gewicht eines Kubik-Fuß Sandes = 98,6 Pfund, die steilste Böschung war bey 6' Höhe = 5',5; die Anlage

der natürlichen Böschung kann wie in dem 41^{ten} Versuche zu 8',05 angenommen werden.

In dem 41^{ten} Versuche war das Gewicht eines Kubik-Fuß Sandes = 98,6 Pfund; die Anlage der steilsten Böschung war bey 6' Höhe = 4',5; die Anlage der natürlichen Böschung wurde erhoben mit 8',05.

Es muß bemerkt werden, daß alle vier Versuche an demselben Tage vorgenommen worden sind, daß die Witterung heiß und vollkommen trocken war, und daß daher äußere Umstände keinen wesentlichen Einfluß auf die Verschiedenheit der gefundenen Resultate gehabt haben konnten.

Dritte Reihenfolge.

Geschlemmter Lehm von dem k. k. Fortifications-Ziegelschlage.

Neun und zwanzigster Versuch am 9^{ten} August.

1^{ten}. In vollkommen trockenem Zustande.

Plan 16.

N ^{ro} .	1.	Ein Kubik-Fuß wiegt =	85	Pfund.
„	2.	„	84 $\frac{6}{8}$	„
„	3.	„	85	„
„	4.	„	85 $\frac{2}{8}$	„
„	5.	„	82 $\frac{6}{8}$	„
„	6.	„	84	„
„	7.	„	85 $\frac{4}{8}$	„
„	8.	„	86 $\frac{3}{8}$	„
„	9.	„	84 $\frac{4}{8}$	„
„	10.	„	85 $\frac{5}{8}$	„
Summe			849	Pfund.

Ein Kubik-Fuß wiegt im Durchschnitte = 84,9 Pfund.

Die Anlage der natürlichen Böschung wurde in dem großen Erdkasten erhoben, sie war für 6 Fuß Höhe gefunden mit 7',24.

Allgemein ist daher diese Anlage für die Höhe $h = 1,206. h$.

Der Kasten wurde sodann ganz gefüllt, indem man, wie bisher immer geschehen, trachtete, die Anschüttung lagenweise zu bewirken.

Nachdem das Thor und der Gewichtskasten sich verschoben hatten, zeigte sich die Bruchlinie bey 3',3 von der inneren Thorwand entfernt.

Auf der Wagschale war die Wirkung	
an Gewichten	600 Pfund.
kleiner Schrotkasten	10 »
Wagschale	110 »
die Hälfte des Gewichtes von dem Stricke und Haken	8 »
Zusammen	728 Pfund.

Die Gestalt des Prisma's vom größten Drucke zeigt schon, daß diese Erde, obwohl möglichst trocken und locker, doch eine bedeutende *Cohäsion* gehabt haben müsse. Um diese zu erheben, wurde die Erde in dem großen Erdkasten so lange nach einer schiefen Ebene von 6' Höhe abgestochen, als sie noch im Stande war, sich zu erhalten; die steilste dieser Ebenen hatte bey 6' Höhe 3',54 zur Anlage.

Dreyßigster Versuch am 10^{ten} August.

Die Erde hatte das nämliche Gewicht wie in dem vorher gegangenen Plan 16. Versuche, und die nämliche natürliche Böschung.

Die Bruchlinie bildete sich bey 3',2 von der inneren Thorwand entfernt.

Die Wirkung auf der Wagschale wurde erhoben mit 716 Pfund.

Die *Cohäsion* dieser lockeren Erde wurde durch die steilste Böschung erhoben, auf welcher sie sich bey 6 Fuß Höhe erhalten konnte; man fand die Anlage dieser Böschung mit 3',00.

Cohäsion der gestossenen Lehmerde, trocken.

An demselben Tage wurde auch ein Versuch über die *Cohäsion* veranstaltet, welche diese Erdgattung durch das Feststoßen zu erlangen vermag.

Die hierzu verwendete Erde war staubtrocken, 1 Kubik-Fuß hatte im Gewichte 85 Pfund, während dem Stoßen in den kleinen Tischkasten wurde dieselbe nicht befeuchtet.

Die *Cohäsion* sammt Reibung wurde überwunden mit . . . 174 Pfund.

Die Reibung wurde erhoben mit 57 »

Abgezogen bleibt für die *Cohäsion* auf 1,25 Quadrat-Fuß . 117 Pfund.

Der Kasten mißt lang 1',25	} 0,625 Kubik-Fuß.
breit 1,00	
hoch 0,50	

Auf einen Quadrat-Fuß beträgt daher die *Cohaesion* = 93,68 Pfund.

Von der gestossenen Erde haben 0',625 gewogen 56 Pfund. Ein Kubik-Fuß wiegt daher 89,6 Pfund.

Die Verdichtung betrug nur 1,054 des Volums der lockeren Erde.

2^{te}ns: Etwas feuchter reiner Lehm, locker.

Der vorher staubtrockene Lehm wurde nunmehr dergestalt gleichförmig befeuchtet, daß er nur eben so feucht ward, als frisch gegrabener Lehm zu seyn pflegt.

Ein und dreyßigster Versuch am 16^{ten} August.

Plan 16.

N^{ro}. 1. Ein Kubik-Fuß wiegt 76,86 Pfund.

„ 2. „ „ „ 77,38 „

„ 3. „ „ „ 77,75 „

„ 4. „ „ „ 77,00 „

„ 5. „ „ „ 77,75 „

„ 6. „ „ „ 79,25 „

„ 7. „ „ „ 77,75 „

„ 8. „ „ „ 78,38 „

„ 9. „ „ „ 79,12 „

„ 10. „ „ „ 76,38 „

Summe = 777,62 Pfund.

Ein Kubik-Fuß wiegt im Durchschnitte = 77,7 Pfund.

Die Anlage der natürlichen Böschung war bey 6' Höhe = 7',22.

Natürliche Böschungsanlage für die Höhe $h = 1,206. h$.

Die Bruchlinie bildete sich bey 2',55 von der inneren Seite der Thorwand. Die Gestalt des abgefallenen Prisma's zeigte von dem Daseyn der *Cohaesion*.

Diese wurde später durch mehrere Versuche mittelst verticaler und schiefer Abgrabungen erhoben, deren *Resultate* im *Plane* 17 aufgeführt sind.

Die erhobene Wirkung auf der Wagschale betrug 726,75 Pfund.

Die Wirkung ward aber zu klein gefunden, weil durch ein Versehen das Auslaufen der Schrote nicht gleich bey dem ersten Verrücken des Ge-

wichtskastens, sondern erst dann verhindert wurde, als derselbe schon eine bedeutend beschleunigte Bewegung angenommen hatte.

Zwey und dreyßsigster Versuch am 16^{ten} August.

Mit dem nämlichen feuchten Lehm wurde die Anschüttung so locker Plan 16. als möglich hergestellt.

Das Gewicht der Erde war unverändert geblieben.

Die Anlage der natürlichen Böschung war auf 6' Höhe = 7',23.

Die Bruchlinie bildete sich auf 2',6 von der inneren Seite der Thorwand.

Die Wirkung auf der Wagschale war = 776 Pfund.

Die Wirkung zeigt abermahls, daß *Cohaesion* vorhanden war.

Drey und dreyßsigster Versuch am 17^{ten} August.

Die Anschüttung wurde abermahls mit dem nämlichen etwas feuchten Plan 17. Lehm locker hergestellt.

Das Gewicht der Erde war unverändert geblieben.

Die Bruchlinie bildete sich bey 2',8 von der inneren Thorwand entfernt.

Auf der Wagschale war die Wirkung = 763 Pfund.

Die Anlage der natürlichen Böschung war für 6' Höhe = 7',20.

Cohaesions-Versuche.

Am 17^{ten} August wurde die *Cohaesion* dieser feuchten Lehmerde sowohl im lockeren Zustande, als auch wenn sie fest gestossen wird, erhoben.

Der Plan 17 zeigt die Resultate der Erhebungen für die *Cohaesion* im lockeren Zustande, sowohl durch Abstechen nach einer schiefen Ebene, als durch Abstechen nach verticaler Richtung.

Die letztere Verfahrungsart gibt h' , nämlich die Höhe, auf welche sich die Erde *vertical* erhält unmittelbar, und ist daher der ersteren vorzuziehen, welche auch schwierig in der Ausführung ist. Es ergibt sich aus dieser letzteren Erhebung, daß $h' = 0',9$ zu klein erscheint; denn auf 6' Höhe hat sich die Erde in schiefer Richtung so abstechen lassen, daß die Böschungsanlage für 1' Höhe = 0',5 wurde, woraus

man $h' = 1',56$ finden würde, welches aber durch wirkliches Abstechen in *verticaler* Richtung nicht zu erreichen war. Man muß daher als Ausdruck für die wahre *Cohaesion* der lockeren Erde dieses Versuches $h' = 0',9$ annehmen.

Cohaesion des lagenweise fest gestossenen etwas feuchten Lehms.

Zur Ueberwindung der *Cohaesion* sammt der Reibung wurde ein Gewicht erfordert von 292 Pfund.

Die Reibung betrug 83,7 »

Verbleibt reine *Cohaesion* auf 1,25 Quadrat-Fuß 208,3 Pfund.

Die *Cohaesion* auf 1 Quadrat-Fuß = 166,644 Pfund.

0,625 Kubik-Fuß gestossene Erde sammt Kasten haben gewogen 75, 5 Pfund.

Der Kasten 8,62 »

0,625 Kubik-Fuß Erde wiegen 66,88 Pfund.

1 Kubik-Fuß gestossener feuchter Lehm wiegt = 107,0 Pfund.

1 Kubik-Fuß lockerer Lehm wiegt 77,7 Pfund.

Die Verdichtung war daher = 1,377 des Volums der lockeren Erde.

Die *Cohaesion* des feuchten lockeren Lehms wurde geringer gefunden als jene des ganz trockenen lockeren, was sich aus dem Umstande erklären läßt, daß der feuchte Lehm kleine Kügelchen bildet, welche unter sich weniger aneinander hängen, als der Staub; dagegen ist die *Cohaesion* des gestossenen feuchten Lehms bedeutend größer gefunden worden, als jene des vollkommen trockenen und gestossenen.

3^{ten}. Mit Wasser gesättigter Lehm.

Vier und dreyßigster Versuch am 17^{ten} August.

Der Lehm wurde lagenweise zu 3 Zoll hoch in den Kasten geschüttet, und mit Wasser in jeder Lage reichlich begossen.

Das ursprüngliche Gewicht des trockenen Lehms von 84,9 Pfund wurde dadurch auf 112 Pfund für jeden Kubik-Fuß gebracht; ein jeder Kubik-Fuß hatte daher 27,1 Pfund Wasser aufgenommen.

Zuerst wurde die natürliche Böschung dieses mit Wasser gesättigten Lehms erhoben, und gefunden, daß die Anlage für 6' Höhe 7',5 betrage.

1.000 | 0,8
1,25
1000

38° 40'

Die Bruchlinie zeigte sich bey 1', 2 von der inneren Seite der Thorwand entfernt; es entstanden mehr rückwärts Sprünge, welche aber auf die Bildung des Prisma's vom größten Drucke keinen Einfluß hatten; denn, nachdem man das Thor herab gelassen hatte, fiel die Erde nur so ab, wie in der Zeichnung zu ersehen ist. Sie erhielt sich vom Fusse aufwärts auf Plan 17. 2', 37 ganz *vertical*, und erst von diesem Punkte aus gestaltete sich eine schiefe Ebene bis auf die angezeigte Entfernung an der Oberfläche der Anschüttung. Die Erde klebte stark an den Seitenwänden und dem Thore an, zeigte auch in sich eine starke *Cohaesion*.

Man erhob diese letztere, indem man die Erde im großen Kasten *vertical* abstach, sie erhielt sich auf 3' hoch *vertical*, bey einer größeren Höhe bildete die abgestochene Seite zuerst eine Ausbauchung, und bey noch wachsender Höhe stürzte sie ein.

Die Wirkung auf der Wagschale war = 631,13 Pfund.

Vierte Reihenfolge.

Kleiner Schotter in Körnern, von der Gröfse einer Haselnuß bis zur Gröfse eines Taubeneyers mit etwas wenigem Sand gemischt, der nur durch Waschen davon hätte getrennt werden können.

Fünf und vierzigster Versuch am 31^{ten} August.

Der Schotter, welcher dem Versuche unterworfen wurde, war mehr- Plan 18. mahls gegen ein enges Drahtgitter geworfen worden, dem ungeachtet blieb er noch immer mit etwas wenigem Sand gemischt, welcher an den Körnern anhing, und nur durch Waschen hätte entfernt werden können. Er war stets im Freyen aufbewahrt worden, und von dem vier Tage früher gefallenen Regen noch etwas feucht.

N^{ro}. 1. Ein Kubik-Fuß wiegt = 95,00 Pfund.

„ 2. „ „ „ „ 95,00 „

„ 3. „ „ „ „ 95,50 „

„ 4. „ „ „ „ 95,00 „

„ 5. „ „ „ „ 95,00 „

„ 6. „ „ „ „ 95,00 „

Fürtrag 570,50 Pfund.

Uebertrag 570,50 Pfund.

N^{ro}. 7. Ein Kubik-Fufs wiegt = 95,75 »

» 8. » » » » 94,75 »

» 9. » » » » 95,00 »

» 10. » » » » 95,00 »

Summe 951,00 Pfund.

Ein Kubik-Fufs wiegt im Durchschnitte = 95,1 Pfund.

Die Anlage der natürlichen Böschung war bey 6' Höhe = 6',97.

Anlage der natürlichen Böschung = 1,161. *h*.

Als die Wirkung gegen das Kastenthor erfolgte, war durchaus keine Bruchlinie zu entdecken; während dem das Thor herab gelassen wurde, fiel der Schotter theilweise nach, erhielt sich aber endlich in einer Böschung, deren Anlage bey 6' Höhe 5',8 betrug.

Als man, um die *Cohaesion* zu erheben, diese Böschung steiler abgraben wollte, fand man, daß dieß nicht möglich sey.

Die auf der Wagschale erhobene Wirkung des Druckes betrug = 1078 Pfund.

Sechs und vierzigster Versuch am 31^{ten} August.

Plan 18.

Der Versuch wurde mit dem nämlichen Schotter wiederholt.

Die Anlage der natürlichen Böschung und das Gewicht waren unverändert geblieben.

Die Erscheinungen bey Herablassung des Kastenthores waren gleichfalls dieselben; der Schotter erhielt sich unter einer Böschung, welche bey 6' Höhe 5',83 betrug, welche sich aber nicht steiler abgraben liefs.

Die auf der Wagschale erhobene Wirkung war = 1072 Pfund.

Sieben und vierzigster Versuch am 4^{ten} September.

Plan 18.

Der bey den vorigen Versuchen verwendete Schotter war einige Tage im Trocknen gelegen, man bemerkte aber, daß die beygemischte sehr wenige Erde noch nicht trocken geworden sey; die Erscheinungen der beyden folgenden Versuche zeigen vielmehr, daß diese Austrocknung die *Cohaesion* etwas vermehrt haben müsse.

N^{ro}. 1. Ein Kubik-Fuß wiegt = 95,00 Pfund.

» 2. » » » 93,00 »

» 3. » » » 96,00 »

» 4. » » » 94,37 »

» 5. » » » 96,00 »

» 6. » » » 94,13 »

» 7. » » » 96,19 »

» 8. » » » 96,56 »

» 9. » » » 96,10 »

» 10. » » » 94,75 »

Summe 952,10 Pfund.

Ein Kubik-Fuß wiegt im Durchschnitte = 95,21 Pfund.

Die Anlage der natürlichen Böschung war bey 6 Fuß Höhe = 6',96.

Die Erscheinungen bey Herablassung des Thores waren wie in den vorher gegangenen Versuchen.

Die Anlage der Böschung, unter welcher die Erde, nachdem das Thor herab gelassen worden war, sich erhielt, war 5',90 bey 6' Höhe; es gelang jedoch, sie noch steiler abzusteichen.

Die Anlage der steilsten Böschung war bey 6' Höhe = 5',36; die groben Körner des Schotter ließen kein *verticales* Absteichen gelingen.

Die auf der Wagschale erhobene Wirkung war = 1105,5 Pfund.

Acht und vierzigster Versuch am 4^{ten} September.

Der Versuch wurde mit dem nämlichen Schotter wiederholt.

Die Anlage der natürlichen Böschung bey 6' Höhe wurde gefunden Plan 18. mit 6',95.

Nachdem das Thor herab gelassen worden war, blieb der Schotter unter einer Böschung stehen, deren Anlage bey 6' Höhe 5',4 betrug; als man aber versuchen wollte, diese Böschung nur um etwas weniger steiler zu machen, stürzte das Ganze sogleich ein.

Die auf der Wagschale erhobene Wirkung war = 1098 Pfund.

F ü n f t e n s.

Anwendung der Theorie und der vorgenommenen Versuche auf eine Futtermauer an der Schotten-Bastion in Wien, von 66 Klafter mittlerer Länge und 46 Fuß Höhe.

Anmerkung. Alle hier vorkommenden Maßen sind in *Fortifications*-Maß zu verstehen, die Gewichte sind Wiener Maß.

Plan 19.

Von den in dem Jahre 1809, während der feindlichen Invasion zerstörten Werken der Hauptumfassung, erübrigte im Jahre 1827 nur noch die Wiederherstellung der in Bresche gelegten Theile der Schotten-Bastion. Es waren ein Theil der rechten Fasse, im Mittel 10 Klafter lang, die ganze linke Fasse, $36\frac{1}{2}$ Klafter lang, die linke Flanke, 12 Klafter lang, die Kehle dieser Flanke, $7\frac{1}{2}$ Klafter lang. Die Höhe der neu aufzuführenden Futtermauer über die Sohle des neu regulirten und erhöhten Hauptgrabens betrug 46 Fuß bis an die Gürtellinie; die Anschüttung war mit der Mauer gleich hoch.

Die alte Mauer, an der inneren Seite vertical, war nach Außen mit einer Böschung versehen, welche $\frac{1}{5}$ der Höhe zur Anlage hatte; die obere Mauerdicke betrug $4' - 6''$. Die Strebepfeiler waren im horizontalen Querschnitte Parallelograme, ihre Höhe über die neue Grabenssohle betrug 42 Fuß, ihre Breite wechselte zwischen $6' - 6''$ und $6' - 9''$; lang waren sie von der hinteren Fläche der Futtermauer gemessen $3^{\circ} - 2' - 0''$, oben waren sie mit einem $1' - 6''$ dicken Gewölbe und einer vollen Nachmauerung verbunden; die Entfernung derselben Mitte von Mitte betrug $3^{\circ} - 1' - 6''$.

Das alte Mauerwerk war aus vortrefflichem Materiale, besonders was die Ziegel anbelangt, hergestellt; die Ziegelverkleidung der sanften äußeren Böschung hatte in dem langen Zeitraume seit der Erbauung (nahe an 200 Jahre) noch gar nicht das mindeste gelitten; ein Beweis, (welcher sich an den meisten Werken hier wiederholt), daß die äußeren Böschungen der Futtermauern, welche von den neueren Ingenieuren so sehr angefeindet werden, nur dann schädlich sind, wenn das Materiale nicht zu den guten gehört. Der Bruchstein, ein feinkörniger Sandstein, wahrscheinlich aus dem Bruche von Nußdorf, hatte meistens gute Lager. Der Mörtel bestand

aus Kalk von den Kaltenleutgebner Brüchen und Donau-Sand, welcher größtentheils grobkörnig war. Es war offenbar zu viel Kalk zu dem Mörtel verwendet worden, wie man dieß bey alten Mauern oft bemerkt; es fanden sich häufig Kalktheile von beynahe einen halben Kubik-Zoll Inhalt, welche kein Sandkorn enthielten. An ihnen fand man *Vicats* Bemerkung, daß fetter Kalk im verschlossenen Raume für sich nicht erhärte, bestätigt; denn alle diese reinen Kalktheile waren noch vollkommen weich, in dem Augenblicke, wenn sie gebrochen wurden, und erhärteten erst nach Verlauf von mehreren Tagen an der Luft. Der mit Sand gehörig gemischte Mörtel hatte eine sehr große Festigkeit in sich, und eine außerordentliche starke *Cohäsion* mit den Ziegeln und Steinen angenommen; erstere zerbrachen größtentheils eher, als sie sich von dem Mörtelbände trennen ließen, und selbst von den Steinen löseten sich bey dem Auseinanderschlagen ganze Stücke ab, welche von dem Mörtel nicht lassen wollten.

Die Mauerarbeit selbst war mit wenig Sorgfalt hergestellt, der Mörtel mit Verschwendung verwendet worden, man fand nicht selten Mörtelbänder von mehr als 2 Zoll Dicke, und zwischen den Steinen oft große Klumpen desselben.

Die Minen konnten dieses starke und feste Mauerwerk nur in colossale Massen zerreißen, welche über einander hingestürzt lagen, und durch Bohrschüsse in kleinere Stücke getrennt werden mußten, wodurch die Arbeit bey dem Abräumen der Bresche ungemein erschwert und verzögert wurde; dazu kam noch, daß die Zerstörung sich auch tief in das Grundmauerwerk erstreckte, denn dieses fand man durchaus auf 10' unter der neuen Grabenssohle zerrissen, stellenweise war dasselbe bis auf die in einer Tiefe von 17 Fuß unter dieser Sohle vorgefundene Pilotirung des Grundmauerwerkes, welche 3 Fuß tief unter Wasser lag, unbrauchbar.

Nachdem alle zweifelhaft erscheinenden Theile des Grundmauerwerkes ausgebrochen und weggeschafft, auch die Grundlage möglichst geebnet worden war, mußte es eine der vorzüglichsten Sorgen seyn, die neue Grundlage so anzuordnen, daß selbst, wenn sich noch erschütterte und getrennte Theile des alten Mauerwerkes darunter befinden sollten, die Grundfeste doch unwandelbar hergestellt werde. Da das Mauerwerk dieser *Bastion* durchaus auf Piloten stand, so war es hinreichend, die neue Grundmauer

so breit als möglich anzulegen, und mit aller Sorgfalt auf die stehen gebliebenen Theile der alten aufzusetzen.

Man liefs daher den ganzen Raum bis an die stehen gebliebenen Theile der alten Strebepfeiler ausmauern, wodurch die neue Grundmauer unter der Grabenssohle eine mittlere Breite von 3° erhielt, nach Aussen gab man derselben die nämliche Böschung, welche das alte Fundament hatte, die Anlage derselben betrug $\frac{1}{2}$ der Höhe. Der grösste Theil der neuen Grundmauer stand auf dem alten Mauerwerk, nur zwischen den Strebepfeilern war es auf den sehr festen Schottergrund in einer Breite von 5' aufgesetzt, um auf diese Weise den ganzen alten Mauerkörper mit dem neuen einzuschliessen und möglichst zu verbinden.

Für die neu aufzuführende Futtermauer wählte man die Form einer liegenden Mauer, als die vortheilhafteste in Bezug auf die Stabilität und Oekonomie; man versah dieselbe mit Strebepfeilern, welche man, um die Fundamente der alten zu benützen, Mitte von Mitte auf 3° — 1' — 6" entfernte, welches jedoch nur an der ganzen linken Fasse gleichförmig für alle Strebepfeiler erreicht werden konnte. Die unregelmässige Eintheilung der alten Strebepfeiler nöthigte an der rechten Fasse und der linken Flanke einige derselben etwas näher zu legen. Man gab den Strebepfeilern im Grundrisse die Gestalt eines Trapezes, welches an der Einwurzlung 7', an dem Hinterende aber 5' Breite hatte; übrigens war auch der Strebepfeiler eine liegende Mauer von der nämlichen Neigung nach Innen, welche die Futtermauer erhielt. Hierdurch wurde ein gleichförmiger Druck gegen alle Theile der Futtermauer erzielt. Weil die *Bastion* mit Bäumen bepflanzt werden sollte, so hielt man die Strebepfeiler tiefer als die alten unter dem *Terreplain*, und gab ihnen an der Oberfläche eine auf die innere Böschung senkrechte Abdachung nach hinten. Die mittlere Höhe eines Strebepfeilers über die neue Grabenssohle betrug 37,28 Fufs.

Der äusseren Böschung der Futtermauer gab man $\frac{1}{6}$ der Höhe zur Anlage, und machte die innere Böschung mit der äusseren gleichlaufend; so konnte jedoch nur die linke Fasse und Flanke hergestellt werden; an der rechten Fasse mußte man wegen der Verbindung mit dem stehen gebliebenen Theile der äusseren Böschung $\frac{1}{5}$ der Höhe zur Anlage geben, und man hielt auch hier die innere Böschung mit der äusseren an der

Mauer und den Strebepfeilern gleichlaufend. Die Mauer in der Kehle der *Flanquen* war auf beyden Seiten vertical, hatte aber ganz die nämlichen Strebepfeiler wie die liegende Mauer, und dient so zu einem unmittelbaren Vergleiche zwischen beyden in Bezug auf die ökonomischen Vortheile, welche die liegende Mauer gewährt.

Dieses waren die vorläufigen Bestimmungen für die Ausmassen einiger Theile der neuen Futtermauer, die übrigen Ausmassen wurden, wie folgt, durch Rechnung gefunden.

Die Erde, welche zur Anschüttung hinter der neuen Futtermauer verwendet werden konnte, und zum grössten Theil diejenige war, welche an der *Bastion* abgegraben worden war; bestand aus einer Mischung von Lehm-erde und Schotter.

Man liess 300 Kubik-Fuß derselben genau wiegen, und fand das mittlere Gewicht eines Wiener Kubik-Fusses dieser Erde in dem Zustande von Feuchtigkeit, welchen sie hatte, als sie abgegraben und in große Figuren zusammen gefahren wurde, mit 94 Pfund.

Es wurden zum Abmessen der Erde Wiener Kubik-Fuß verwendet, weil man mit genauen Maßen dieser Art versehen war; und es bedurfte keiner Reduction dieses Mafses auf *Fortifications*-Maß, um das Gewicht eines *Fortifications*-Kubik-Fuß Erde zu finden; sondern man berechnete nach den erhobenen Daten die zu findenden Ausmassen der Mauer, und führte sodann Alles eben so im *Fortifications*-Masse aus, wie die Rechnung es im Wiener Masse hatte finden lassen. Denn da sich die körperlichen Inhalte der nämlichen Erde wie die Gewichte verhalten; so mußten die Momente der Mauer und des Erddruckes sich ebenfalls gleich seyn, wenn alle Ausmassen eben so im *Fortifications*-Masse genommen wurden, wie man sie im Wiener Maß in Rechnung gebracht hatte.

Der Winkel, welchen die natürliche Böschung dieser Erde mit dem Horizonte bildet, wurde nach mehreren Erhebungen mit 39° gefunden; hiernach ergibt sich die Größe des Schüttwinkels oder Reibungswinkels α mit 51° .

Das Mauerwerk sollte aus $\frac{2}{3}$ Ziegel und $\frac{1}{3}$ Steinen hergestellt werden; ein Kubik-Fuß Ziegel ohne Fugen fest geschlichtet wiegt 80,76 Pfund, ein Kubik-Fuß unseres Steines 120 Pfund. Da man das Gewicht des in den Fugen zwischen den Steinen und Ziegeln befindlichen Mörtels im trockenen

Zustande mit den Ziegeln in gleichem Gewichte annehmen kann; so kann man das Gewicht dieses gemischten Mauerwerkes so bestimmen, als ob es aus $\frac{2}{3}$ fest geschlichteten Ziegeln und $\frac{1}{3}$ Stein bestünde. Ein Wiener Kubik-Fuß desselben würde daher 93,84 Pfund wiegen, welches Gewicht man auf 94 Pfund fest setzen will.

Da man der Mauer Strebepfeiler zu geben gesonnen war; so mußte die Dicke der Futtermauer selbst dergestalt fest gesetzt werden, daß sie durch den Druck der lockeren Erde nicht zum Gleiten auf ihrer Grundfläche gebracht werden könne.

Die Formel (35) gibt die hierzu erforderliche Mauerdicke x' allgemein; in dem vorliegenden besonderen Falle ist aber $\frac{p}{p'} = 1$; $H = h$ und ε verneinend, daher

$$x' = h \left[-\frac{1}{2} \text{Tang. } \varepsilon \left(1 - t^2 \cdot \text{Cos.}^2 \varepsilon \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{t^2 \cdot \text{Cos.}^2 \varepsilon}{f'} + n \right) \right].$$

Weil die Mauer einwärts um den Winkel ε geneigt seyn soll, so wird aus (12) $t = \text{Tang. } \frac{1}{2} (a + \varepsilon) - \text{Tang. } \varepsilon$.

Und da der Winkel $a = 51^\circ$, $\varepsilon = 9\frac{1}{2}^\circ$ ist, so ist $(a + \varepsilon) = 60\frac{1}{2}^\circ$, $\frac{1}{2} (a + \varepsilon) = 30^\circ$, weil man auf Theile eines Grades unter der Hälfte in der Ausführung keine Rücksicht nehmen will.

Nun ist aber $\text{Tang. } 30^\circ = 0,577$; und $\text{Tang. } 9\frac{1}{2}^\circ = 0,167$; folglich $\text{Tang. } \frac{1}{2} (a + \varepsilon) - \text{Tang. } \varepsilon = 0,577 - 0,167 = 0,41 = t$ und $t^2 = 0,168$.

Die Reibung der Ziegel auf Ziegel nämlich $f' = 0,76$.

Ferner ist $\text{Cos. } \varepsilon = 0,986$;

$h = 46'$.

$n = \frac{1}{6}$.

Substituirt man diese Werthe in dem obigen Ausdrucke; so wird

$$x' = 46 (-0,070 + 0,190) = 5',52.$$

Der vollkommenen Sicherheit wegen wird man daher annehmen:

$$x' = 6',0.$$

So dick müßte eine Mauer am Fusse unter den gegebenen Umständen gemacht werden, wenn der Erddruck nicht im Stande seyn soll, dieselbe auf ihrer Grundfläche horizontal zu verschieben.

Die so angenommene Ausmafs für die untere Dicke der Zwischenmauer ist aber auf der Oberfläche des Fundamentes horizontal zu nehmen; weil jedoch die Lagen des Mauerwerkes einen auf die äufsere Böschung senkrechten Fall einwärts erhalten müssen; so steckte man die angenommenen 6' nach der Richtung dieses Falles aus, um so die Massen während der Arbeit genauer prüfen zu können. Die horizontale Dicke der Zwischenmauer ward dadurch zur Hypothenuse eines rechtwinklichten Dreyeckes, dessen eine Kathete = 6', die andere = 6. *Tang. ε* ist; die in Rechnung zu bringende horizontale Dicke der Zwischenmauer ist demnach

$$x' = 6',08.$$

Weil die innere Böschung mit der äufseren gleich laufen soll; so bleibt diese Mauer in der ganzen Höhe gleich dick. Nach diesen Annahmen erübrigt noch die Stabilität des ganzen Systems der Futtermauer, unter der Voraussetzung des Umsturzes zu berechnen.

Die einzige Ausmafs, welche unter dieser Voraussetzung noch gesucht werden muß, ist die Länge des Strebepfeilers.

Wir werden dieselbe x nennen.

Suchen wir nun zuerst das Moment des Erddruckes, unter der Voraussetzung des Umsturzes der Futtermauer.

Die Formel (17) gibt dieses Moment mit Berücksichtigung der *Cohesion* allgemein, nämlich

$$M = \frac{1}{2} p t^2 \left[\frac{1}{3} (h - h'')^2 (h + \frac{1}{2} h'') + h (h - h'') x. \sin. \varepsilon. \cos. \varepsilon \right].$$

Dieser Ausdruck enthält x , das heist: die untere Dicke einer Futtermauer, welche ohne Strebepfeiler dem Drucke das Gleichgewicht hält; es ist daher nöthig, zuerst x so zu bestimmen, als ob keine Strebepfeiler vorhanden wären.

Die Formel (22) gibt den allgemeinen Werth für x an, unter der Voraussetzung: daß die *Cohesion* der lockeren Erde gleich Null sey; weil aber in dem vorliegenden Falle die Anschüttung mit der Mauer gleich hoch ist, und das Gewicht der Erde dem Gewichte des Mauerwerkes gleich kommt; so verwandelt sich die allgemeine Formel (22) in folgende:

$$x = h \left\{ -\frac{1}{2} \text{Tang. } \varepsilon (1 - t^2. \cos.^2 \varepsilon) + \sqrt{\left[\frac{1}{3} t^2 + \frac{1}{4} \text{Tang.}^2 \varepsilon (1 - t^2. \cos.^2 \varepsilon)^2 - \frac{1}{3} (\text{Tang.}^2 \varepsilon - n^2) \right]} \right\}.$$

Nun ist aber $h = 46'$; $Tang. \varepsilon = 0,167$; $t^2 = 0,168$; $Cos. \varepsilon = 0,986$ und $n = \frac{1}{6}$;

mithin $x = 8',1$.

Dieser Werth von x muß in der Formel (17) substituirt werden: weil jedoch die *Cohaesion* gleich Null voraus gesetzt wird; so wird $h'' = 0$. Der Annahme gemäß ist:

$Sin. \varepsilon = Sin. 9\frac{1}{2}^\circ = 0,165$; weil ferner die Strebepfeiler $19',5$ Mitte von Mitte abstehen sollen, und wenn die Mauer gegen die Erde geneigt ist, die unteren Zeichen gelten; so ist das Moment des Erddruckes auf die Entfernung zweyer Strebepfeiler - Mitteln:

$$M = 19',5 \times \frac{1}{2} p \cdot t^2 \left(\frac{1}{3} h^3 + 8,1 \cdot h^2 \cdot Sin. \varepsilon \cdot Cos. \varepsilon \right).$$

Substituirt man die Werthe für h , t^2 , $Sin. \varepsilon$ und $Cos. \varepsilon$; so erhält man
1^{ens}. $M = 57693,55 \cdot p$.

Die Futtermauer ist

$$\left. \begin{array}{l} \text{lang} = 19',5 \\ \text{breit} = 6,08 \\ \text{hoch} = 46,00 \end{array} \right\} 5453,76 \text{ Kubik-Fuß.}$$

Wenn π das Gewicht eines Kubik-Fußes Mauerwerk ausdrückt; so ist das Gewicht der Futtermauer $= 5453,76 \cdot \pi$.

Der Hebelsarm, an welchen der Widerstand derselben wirkend gedacht werden muß: $= \frac{6,08}{2} + \frac{h}{12} = 6',873$.

Und wenn die *Cohaesion* des Mörtels gleich Null gesetzt wird:

2^{ens}. Das Moment der Futtermauer $= 37483,692 \cdot \pi$.

Der Strebepfeiler ist:

$$\left. \begin{array}{l} \text{mittel breit} = 6',00 \\ \text{hoch} = 37,28 \\ \text{lang} = x \end{array} \right\} 223,68 \cdot x \text{ Kubik-Fuß.}$$

Das Gewicht desselben $= 223,68 \cdot \pi \cdot x$.

Der Hebelsarm $= 6,08 + \frac{x}{2} + \frac{37,28}{12} = 9',186 + \frac{x}{2}$.

Und wenn die *Cohaesion* des Mörtels $= 0$ gesetzt wird:

3^{ens}. Das Moment des Strebepfeilers $= 111,84 \cdot \pi \cdot x^2 + 2054,724 \cdot \pi \cdot x$.

Und weil für den Stand des Gleichgewichtes die Summe der Momente der Mauer dem Momente des Erddruckes gleich seyn müssen; so hat man

$$111,84 \cdot \pi \cdot x^2 + 2054,724 \cdot \pi \cdot x + 37483,69 \cdot \pi = 57693,55 \cdot p.$$

Es ist aber $\pi = p$; folglich:

$$x^2 + 18,371 \cdot x = 515,857 - 335,154.$$

$$x = -9,185 + \sqrt{180,703 + 84,364}.$$

$$x = 16,28 - 9,18 = 7',1.$$

Wenn man nach der auf die äußere Böschung senkrechten Richtung für die Länge des Strebepfeilers 7',0 aufträgt; so wird derselbe horizontal gemessen 7',1 lang, wie es die Rechnung für den Stand des Gleichgewichtes fordert. Um auch dieses Maß zu jeder Zeit ohne viele Umstände genau prüfen zu können, wurde daher dasselbe ebenfalls senkrecht auf die äußere Böschung, und zwar mit 7',0 aufgetragen.

Werden alle Theile der Futtermauer nach den angenommenen und gefundenen Ausmaßen hergestellt, so ist die Mauer nur im strengen Gleichgewichte mit dem Drucke der lockeren Erde, und eine Verstärkung wird nothwendig, um sie gegen alle Zufälligkeiten sicher zu stellen. Die Erhebungen über die *Cohaesion* der fest gestossenen Erde gaben uns die Mittel an die Hand, der Mauer eine vollkommen hinreichende Verstärkung zu verschaffen, ohne ihre Masse zu vermehren, indem man nämlich statt einer lockeren Anschüttung eine fest gestossene herstellen liefs.

Um zu erfahren, um wie viel das Moment des Erddruckes sich vermindere, wenn die nämliche Erde, welche zu der Anschüttung hinter der Futtermauer verwendet werden mußte, fest gestossen wird, wurde folgender *Cohaesions*-Versuch vorgenommen.

Am 20^{ten} Junius 1827.

Versuch über die Cohesion, welche Lehmerde mit grobem Kies gemischt, durch Anstoßen, im Maximum beynahe anzunehmen vermag.

Die Erde hatte ihre natürliche Feuchtigkeit; ein dem Versuche unterworfenen Kubik-Fuß derselben hat im lockeren Zustande gewogen = 88 Pfund.

Sie wurde in dem zur Erhebung der *Cohaesion* bestimmten Apparate lagenweise so gut als möglich gestossen.

Die *Cohaesion* sammt Reibung wurde überwunden mit . . 262 Pfund.

Die Reibung allein mit 70 »

Verbleibt die *Cohaesion* auf der Grundfläche des Kastens
von 1,25 Quadrat-Fuß 192 Pfund.

Auf einen Quadrat-Fuß beträgt daher die *Cohaesion* = 153,6 »

Die in den Kasten fest gestossene Erde hat gewogen. . . . 69 »

Und weil der Kasten 0,625 Kubik-Fuß faßt, wiegt ein
Kubik-Fuß dieser gestossenen Erde = 110,4 »

Ein Kubik-Fuß fest gestossener Erde dieser Gattung gibt daher 1,25 Kubik-Fuß lockere; oder die Verdichtung betrug $\frac{1}{4}$ von der Masse der lockeren Erde.

So wie man aber in der Ausübung nicht die ganze absolute oder relative Festigkeit der Bau-Materialien, sondern nur einen Theil derselben in Anspruch nimmt; eben so wird man auch nicht die ganze *Cohaesion* der fest gestossenen Erde, so wie sie durch den Versuch gefunden worden ist, sondern nur einen Theil derselben als vorhanden annehmen; und die Frage war nur noch, welchen Theil dieser *Cohaesion* man mit Sicherheit in Anspruch nehmen könne. Um sich hierüber Aufklärung zu verschaffen, untersuchte man die *Cohaesion* einer Anschüttung von der nämlichen Erde, welche in 1 Fuß hohen Lagen aufgeschüttet, und mit Schubkarren überfahren worden war. Diese Anschüttung, ein auf dem *Terreplain* der *Bastion* aufgehäufte *Depot*-Haufe, hatte 12 Fuß Höhe, war schnell aufgeschüttet und nur wenig überfahren worden, hatte aber bis zum Tage des Versuches schon durch 14 Tage lang Zeit gehabt, sich zu setzen. Die Erhebung der *Cohaesion* wurde durch das Auffinden der steilsten Böschung, unter welcher diese Erde in der angegebenen Höhe sich noch zu erhalten vermochte, unternommen. Man scarpirte daher am Rande der Anschüttung (wo eigentlich das Ueberfahren fast gar nicht Statt gehabt hatte) eine Länge von 15 Fuß nach verschiedenen Böschungen, indem man immer auf eine steilere überging, wenn die Erde sich unter der sanfteren erhalten hatte. Als man auf diese Art eine Böschung hergestellt hatte, welche $\frac{1}{4}$ der Höhe zur Anlage

hatte, hielt sich die Erde nur wenige Minuten, nach deren Verlauf ein Theil der Böschung einstürzte.

Die Tabelle über die Böschungsanlage der Erdaushebungen wird uns dazu dienen, um aus der gefundenen steilsten Böschung die *Cohaesion* dieser Erde auf einen Quadrat-Fuß zu finden.

Die Anlage der natürlichen Böschung dieser Erde ist für die Einheit der Höhe = 1,235; die zunächst übereinstimmende Zahl der obersten horizontalen Colonne in der Tabelle ist 1,20; die Anlage der steilsten Böschung, unter welcher sich die Erde zu erhalten vermochte, war für die Einheit der Höhe = 0,25, welche mit der zweyten Zahl der ersten verticalen Colonne übereinstimmt, die Zahl, welche in dem Durchschnitte beyder Colonnen steht, ist $1,82 = \frac{h}{h'}$, und weil h in dem Versuche = 12 Fuß war; so ist $h' = 6',59$ etwas kleiner als es wirklich war, weil die Anlage der natürlichen Böschung nicht 1,20, sondern 1,235 ist; indessen kann man sich mit der so gefundenen GröÙe für h' um so mehr begnügen, da die Erde bey der Böschung von $\frac{1}{4}$ der Höhe zur Anlage sogleich eingestürzt ist.

Nach der Formel (9) ist

$$c = \frac{1}{4} p h' . \text{Tang. } \frac{1}{2} a.$$

Und weil $p = 94$ Pfund, $h' = 6',59$, $\text{Tang. } \frac{1}{2} a = \text{Tang. } 25\frac{1}{2}^\circ = 0,477$ ist; so findet man

$$c = 73,848 \text{ Pfund.}$$

Die in dem Apparate erhobene *Cohaesion* der sorgfältig fest gestossenen Erde gab

$$c = 153,6 \text{ Pfund.}$$

Mithin hatte eine sehr nachlässig hergestellte Anschüttung von der nähmlichen Erde *beynahe die Hälfte* von der *Cohaesion* der sorgfältig gestossenen Erde.

Mit vollkommener Sicherheit konnte man daher die *Cohaesion* der herzustellenden Anschüttung, welche mit aller Sorgfalt gestossen werden sollte, auf 70 Pfund für einen Quadrat-Fuß annehmen, und in Rechnung bringen.

Um nun ferner zu erfahren, welche Verstärkung der herzustellenden Futtermauer, welche mit dem Drucke der lockeren Erde in das Gleichgewicht gesetzt wurde, durch eine fest gestossene Anschüttung erwachse,

wird man das Moment des Druckes der Erde, deren *Cohaesion* 70 Pfund auf jeden Quadrat-Fuß beträgt, mit dem Moment des Druckes einer lockeren Anschüttung ohne *Cohaesion* von gleicher Höhe vergleichen.

Die allgemeine Formel (17) gibt das Moment des Druckes der cohaerirenden Erde, welches wir M' nennen werden, für den vorliegenden Fall mit:

$$M' = \frac{1}{2} p t^2 \left[\frac{1}{3} (h - h'')^2 (h + \frac{1}{2} h'') + h (h - h'') x' \cdot \sin. \varepsilon \cdot \cos. \varepsilon \right];$$
 in welcher uns nur noch h'' unbekannt ist.

In Folge der obigen Annahme von $c = 70$ Pfund wird $h' = 6', 245$; und nach Formel (11) ist bey der liegenden Mauer

$$h'' = h' \frac{\cos. \varepsilon \cdot \sin.^2 \frac{1}{2} a}{\sin.^2 \frac{1}{2} (a - \varepsilon)} = 8', 605; \text{ wird angenommen } = 8', 6.$$

Werden die Werthe substituirt, so erhält man für das Moment des Druckes cohaerirender Erde $M' = 203071, 633$.

Das Moment des Druckes einer gleich hohen lockeren Anschüttung (ohne *Cohaesion*) . . $M = 279191, 911$.

$$\text{Und } M - M' \dots\dots\dots = 76120 \dots = \frac{M}{3,66}.$$

Und weil das Moment der Mauer ebenfalls $= M$ ist; so ist

$$M = M' + \frac{M}{3,66}.$$

Wenn daher die Anschüttung durch das Anstoßen nur 70 statt 153,6 Pfund auf den Quadrat-Fuß *Cohaesion* erhalten sollte; so würde das Moment der Mauer, wenn sie mit dem Drucke der lockeren Erde ohne *Cohaesion* im Gleichgewichte stehet, den Druck der cohaerirenden Anschüttung beynahe um $\frac{1}{3}$ des Momentes einer gleich hohen Anschüttung ohne *Cohaesion* überwiegen, und das Moment des Druckes der gestoßenen Erde müßte demnach um eben so viel sich vergrößern, ehe die Mauer Schaden nehmen könnte. Wird aber die Anschüttung durchaus sorgfältig angestoßen; so kann man ohne Uebertreibung annehmen, daß das Widerstands-Moment der Mauer um $\frac{2}{3}$ von dem Momente des Druckes lockerer Erde stärker sey, als das Moment des Druckes der cohaerirenden Anschüttung.

Man hat daher die Massen der Futtermauer, ohne sie weiter zu verstärken, so gelassen, wie sie die Rechnung für das Gleichgewicht mit dem Drucke einer lockeren Anschüttung hat finden lassen.

Die Mauer wurde in horizontalen Lagen, jede 3' — 4" hoch aufgeführt, welche nach rückwärts einen Fall hatten, dessen Richtung auf die äußere Böschung senkrecht war. Die Ausgleichung einer jeden Lage bestand aus zwey Ziegellagen, mit welchen die Futtermauer sammt den Strebe-
pfeilern überdeckt wurden, einer sogenannten Kettenschaar.

Der Mörtel bestand aus Kalk von Kaltenleutgeben und Gaden, auf die gewöhnliche Art gelöscht, und aus Donau-Sand, welcher zweymahl durch Drahtgitter geworfen war; in dem Verhältnisse von 1 Theil gelöschten Kalk (Kalkteig) auf $2\frac{1}{2}$ Theil Sand gemischt.

Die Anschüttung wurde mit der Mauer gleichmäfsig hergestellt, so zwar, daß in der Zeit, in welcher die eine halbe Länge der ganzen Futtermauer um eine Lage erhöht wurde, in der anderen Hälfte die Anschüttung bis auf die Höhe der zuvor aufgeführten Lage beendigt war.

Um die Arbeit möglichst zu beschleunigen, war an der Grabenseite ein Gerüste erbauet, und die nöthigen Laufbrücken hergestellt. Der Anschüttung gab man von der Mauer weg einwärts einen starken Fall, um das Regenwasser während der Arbeit abzuleiten, zu welchem Ende Wasserabzüge mittelst hölzerner Rinnen durch die Futtermauer ausgespart wurden, deren Lage man bey dem Fortschreiten der Arbeit veränderte. Da der Versuch über die *Cohaesion* der fest gestossenen Erde gezeigt hatte, daß die Verdichtung für 153,6 Pfund *Cohaesion* $\frac{1}{4}$ des Volums der lockeren Erde betrug; so wurde die Erde in 8 Zoll hohen Lagen aufgeschüttet, überfahren, und bis auf 6 Zoll Höhe zusammen gestossen, welches bis zur Vollendung der Anschüttung möglichst beobachtet wurde.

Um eine Kubik-Klafter *Fortifications*-Maß einer auf solche Art fest gestossener Anschüttung herzustellen, wurden zum Anstoßen 3 Mann erfordert.

Die Maurerarbeit selbst wurde zwar mit der größten Sorgfalt ausgeführt, doch zugleich mit der möglichsten Eile betrieben, um gleichsam die ungünstigen Umstände für die Stabilität selbst herbey zu führen, damit auf diese Art jeder denkbare Zweifel an die vollkommene Sicherheit der Theorie beseitiget werde. Das Materiale bestand dabey größtentheils aus dem alten, von der Bresche dieser *Bastion* und anderen Abtragungen gewonnenen, und die neuen Ziegeln waren von kaum mittelmäßiger Güte.

Die Abräumung der Bresche bis 12 Fuß tief unter der neuen Grabensohle war beendigt am 30^{ten} Julius 1827.

Das Grundmauerwerk wurde begonnen am 31^{ten} Julius,
beendigt „ 18^{ten} August.

Zusammen 19 Tage.

Hierunter waren

Regentage —

Sonntage 2

Feyertage 1.

Zusammen 3 Tage.

Verbleiben Arbeitstage . . . 16.

Der Bau der Futtermauer wurde begonnen am 20^{ten} August,
beendigt „ 23^{ten} October.

Zusammen 64 Tage.

Hierunter waren

Regentage 6½

Sonntage 9

Feyertage 1

Tage, an welchen wegen Ausrückun-
gen nicht gearbeitet werden konnte. . . . 6½.

Zusammen 23 Tage.

Verbleiben Arbeitstage . . . 41.

Die in der Kehle aufzuführende an beyden Seiten *verticale* Mauer mit ganz gleichen Strebepfeilern wurde nach denselben Grundsätzen, wie die liegende Mauer, nur mit dem Drucke einer Anschüttung ohne *Cohaesion* im Gleichgewichte stehend berechnet. Die Rechnung gibt die Dicke derselben mit 11',5, und beweiset die große Ersparung, welche die Anwendung liegender Mauern bey gleicher Stabilität verschafft.

Dritter Abschnitt.

Untersuchung über die Uebereinstimmung der Theorie mit den angestellten Versuchen.

Die Theorie über den Druck der Erde gegen Futtermauern macht folgende Voraussetzungen:

1^{tens}. Dafs sich, wenn das Hinderniß weicht, ein dreyseitiges Prisma von der Masse der Anschüttung ablöse, und der Bruch in einer ebenen Fläche geschehe.

2^{tens}. Dafs die Neigung der natürlichen Böschung jeder Erde den Reibungswinkel für diese Erdgattung bestimme.

Eine Folge dieser Voraussetzung ist: dafs, wenn man den Winkel, welchen die Neigung der natürlichen Böschung mit einer verticalen Ebene macht, gleich α setzt, und den ganzen Erdkörper sich in einem verticalen Durchschnitte vorstellet, dasjenige Prisma, welches den größten Druck ausübt, und wirklich abfällt, durch die Tangente des halben Winkels α bestimmt werde; so zwar, dafs, wenn man die Höhe der Anschüttung allgemein durch h ausdrückt, und voraus setzt, dafs die innere Seite des Hindernisses vertical sey, die Grundlinie dieses Prisma's durch $h \cdot \text{Tang. } \frac{1}{2} \alpha$ ausgedrückt werden kann.

3^{tens}. Dafs von der ganzen Masse der Anschüttung nur dieses Prisma allein das Hinderniß zu überwinden trachten werde, und dafs man daher, um die Anschüttung standhaft zu erhalten, den Widerstand mit der Wirkung dieses Prisma's in das Gleichgewicht setzen müsse.

4^{tens}. Dafs die *Cohesion* der Erdtheile in der ganzen Höhe der Anschüttung dieselbe sey, und dafs sich daher die Gröfse der Wirkung dieser Kraft durch das Mafs der Fläche bestimmen lasse, auf welcher der Bruch vor sich gehet.

5^{tes}. Wenn eine Mauer den Widerstand gegen den Seitendruck der Erde bildet, diese, wenn sie weicht, sich umstürze, indem sie als eine einzige fest verbundene Masse sich um ihre äußere unterste Kante als Achse der Kreisbewegung drehe.

Versuche, welche über den Druck der Erde angestellt werden, können daher keinen anderen Zweck haben, als zu untersuchen, ob diese Voraussetzungen in der Ausführung sich allgemein bewähren; in wie fern sie sich vielleicht bey verschiedenen Erdgattungen modificiren; — und wie die Daten, welche die Theorie für die Berechnung des Erddruckes fordert, in jedem Falle leicht und richtig erhoben werden können. Diese Daten sind aber:

Das Gewicht der Erde.

Bestimmung der Reibung durch die Erhebung der Anlage der natürlichen Böschung.

Die Bestimmung der *Cohaesion* durch die Erhebung der Höhe, bis zu welcher sich die Erde entweder vertical, oder unter einer gegebenen Neigung standhaft zu erhalten vermag; oder auch durch die Bestimmung des Gewichtes, welches einen Quadrat-Fuß cohaerirender Erde zu zerreißen im Stande wäre.

Nach Herrn *Prony's* Theorie vermag man nur aus der Höhe, bis zu welcher sich die Erde vertical zu erhalten vermag, die Größe der *Cohaesion* zu finden, und kann daher nur die *Cohaesion* natürlich gewachsener oder fest gestossener Erde bestimmen.

Herrn *Français* allgemeine Auflösung dieser Aufgabe verschafft uns aber die Mittel, auch die *Cohaesion* ganz lockerer Erde durch Aufsuchung der steilsten Böschung, unter welcher sie sich standhaft zu erhalten vermag, zu berechnen; und erst jetzt ist es daher möglich, belehrende Versuche über den Seitendruck der Erde anzustellen. Denn unsere Versuche haben uns die vollständige Ueberzeugung verschafft, daß die von uns untersuchten Erdgattungen, selbst jene, bey welchen es am wenigsten zu vermuthen gewesen wäre, doch nie ganz frey von *Cohaesion* gewesen seyen; die Resultate der Versuche können daher nur dann in Bezug auf ihre Uebereinstimmung mit der Theorie geprüft werden, wenn man die *Cohaesion* ganz lockerer Erde genau finden, und sodann in Rechnung bringen kann.

J. 18. 6

Diese Prüfung wird den Gegenstand der folgenden Erörterungen ausmachen; wir werden darin untersuchen:

1^{tens}. Wie die beobachteten Grundlinien der abgefallenen Erd-Prismen mit den aus der beobachteten Anlage der natürlichen Böschung berechneten Grundlinien des Prisma's vom größten Drucke übereinstimmen. Die Uebereinstimmung wird uns die Ueberzeugung von der Richtigkeit der Voraussetzung verschaffen, daß die Reibung durch die natürliche Böschung bestimmt werde.

2^{tens}. Ob die beobachtete Wirkung des Erddruckes mit der berechneten nahe genug zusammen stimme. Bey dieser Untersuchung werden wir es nicht unterlassen können, auch die *Cohaesion* in Rechnung zu bringen, und die Uebereinstimmung wird dann nicht nur die Richtigkeit der Theorie, sondern auch die Richtigkeit der Erhebung aller in Rechnung gebrachten Daten beweisen.

Die von uns gemachten Erhebungen über die *Cohaesion* lockerer und fest gestossener Erde, so wie jene über die *Cohaesion*, welche die Erde im lockeren sowohl als im fest gestossenen Zustande, jedoch in verschiedenen Graden von Feuchtigkeit anzunehmen vermag, sind unseres Wissens die ersten dieser Art, und ganz allein geeignet, die Erscheinungen des Seitendruckes der Erde in ein helles Licht zu setzen. Sie haben uns in den Stand gesetzt, unsere Versuche unmittelbar mit einer Ausführung *im Großen* zu beschließen, gegen welche alle kleinlichen Zweifel verstummen müssen, und welche den Fingerzeig gibt, wie durch eine kluge Benützung theoretischer Forschungen dem Staate unzählbare Summen erspart werden können.

Dem Gelehrten öffnen sie ein weites Feld neuer gewiß sehr lehrreicher Untersuchungen, wir unserer Seits haben diese jedoch nur so weit fortgesetzt, als es uns für die Ausführung unmittelbar nothwendig und nützlich geschienen.

Erste Reihe von Versuchen.

1^{tens}. *Lockere Dammerde im natürlich feuchten Zustande, die Anschüttung mit dem Hindernisse gleich hoch.*

Erster Versuch.

Die beobachtete Grundlinie des abgefallenen Prisma's war 2',57 in der Mitte und 2',66 an den beyden Seitenwänden; daher im Durchschnitte:

Die beobachtete Grundlinie des abgefallenen Erd-Prisma's = 2',630.

Die Anlage der natürlichen Böschung wurde auf die Einheit der Höhe erhoben mit 1,083.

Der Winkel a , welcher dieser Anlage entspricht, ist: $a = 47\frac{1}{3}^\circ$, $\frac{a}{2} = 23\frac{2}{3}^\circ$.

Sonach ist $\text{Tang. } \frac{1}{2} a = 0,438$.

Und für die Höhe von 6 Fuß: $h. \text{Tang. } \frac{1}{2} a \dots\dots\dots = 2',628$.

Unterschied der gefundenen und berechneten Grundlinie. $\dots\dots\dots = 0',002$.

Drey und zwanzigster Versuch.

Bey einer Höhe von 18 Fuß und 4,5 Fuß Ueberhöhung fand man die Grundlinie des abgefallenen Erd-Prisma's $\dots\dots\dots = 10',77$.

Durch Erhebung der natürlichen Böschung wurde der Winkel a gefunden = 51° .

$\frac{1}{2} a = 25\frac{1}{2}^\circ$; $\text{Tang. } \frac{1}{2} a = 0,477$. Daher: $h. \text{Tang. } \frac{1}{2} a \dots\dots\dots = 10',73$.

Unterschied zwischen der erhobenen und berechneten Grundlinie $\dots\dots\dots = 0',04$.

Ueber den Druck selbst gestatteten der erste und zweyte Versuch keinen Vergleich, weil in diesen beyden Versuchen das Thor des Erdkastens noch so eingerichtet war, daß sich dasselbe um die äußere Kante drehete; die Wirkung des Erddruckes wurde also hier noch durch die Gegenwirkung eines auf der inneren Seite des Thores aufliegenden Erd-Prisma's, welches gehoben werden mußte, vermindert.

Der 23^{te} Versuch hingegen hat gezeigt, daß die in kleineren Massen angestellten Versuche auf größere Ausmaßen angewandt, dieselben Resultate geben; denn die für den Stand des Gleichgewichtes nach den Resultaten unserer Versuche berechnete Mauer erhielt sich gegen den Druck einer gleich hohen Anschüttung, so wie es vorausgesetzt wurde, und konnte nur durch eine Ueberhöhung von 4,5 Fuß Höhe umgeworfen werden. Man hatte bey diesem Versuche die Stabilität der Mauer nicht nach der Theorie, sondern nach den Ergebnissen der bis dahin angestellten Versuche berechnet, um auf diese Art auch die *Cohaesion* der lockeren Erde in Anspruch zu nehmen. Allein die Versuche waren nur mit Anschüttungen von 6 Fuß Höhe unternommen worden, dagegen hatte die Anschüttung im 23^{ten} Ver-

0,477
18
38 16 4,5
477 18
8,586 4,5
2,146 4,5
10,732 4,5
2385
1908
2,1465

suche eine Höhe von 18 Fuß; die *Cohaesion* mußte daher hier größer seyn, als in den früheren Versuchen, und eben darum auch die Mauer eine Ueberwucht an Widerstandsfähigkeit erhalten; diese Ueberwucht wurde jedoch, wo nicht ganz, doch größtentheils durch die ungemeine Schnelligkeit, mit welcher die Anschüttung hergestellt worden war, wieder aufgehoben.

2^{ten}. *Lockere vollkommen trockene Dammerde, die Anschüttung mit dem Hindernisse gleich hoch.*

Wir haben mit solcher Erde und einer mit dem Hindernisse gleich hohen Anschüttung zwölf Versuche angestellt, und sind daher im Stande, die Durchschnitte aus den Erhebungen zu dem Vergleiche zu benützen, wodurch alle bey Versuchen unvermeidlichen Abweichungen möglichst ausgeglichen werden.

In sechs dieser Versuche wurde der Erdkasten jedesmahl ganz mit Erde gefüllt, in den sechs übrigen wurde der rückwärtige Theil der Anschüttung bis in die Ebene der natürlichen Böschung in dem Kasten liegen gelassen, und bloß das leere Prisma mit möglichster Eile ausgefüllt, um auf diese Art die *Cohaesion* zu vermindern. Weil aber die *Cohaesion* auf die Gröfse des Prisma's vom größten Drucke keinen Einfluß nimmt; so können wir bey dem Vergleiche der beobachteten und berechneten Grundlinie dieses Prisma's den Durchschnitt aus allen zwölf Beobachtungen benützen. Diese waren in dem

Grundlinie des abgefallenen Prisma's.

4 ^{ten}	Versuche		2', 975.	} Der Durchschnitt aus zwölf Versuchen = 2', 803.
5 ^{ten}	"	.....	3', 120.	
6 ^{ten}	"	.....	2', 300.	
7 ^{ten}	"	.....	2', 400.	
8 ^{ten}	"	.....	2', 850.	
9 ^{ten}	"	.....	3', 000.	
10 ^{ten}	"	.....	3', 110.	
11 ^{ten}	"	.....	2', 050.	
12 ^{ten}	"	.....	2', 600.	
13 ^{ten}	"	proportionirt	3', 000.	
14 ^{ten}	"	.....	3', 530.	
15 ^{ten}	"	.....	2', 700.	
Summe			33', 635.	

Die Anlage der natürlichen Böschung dieser Erde wurde für die Einheit der Höhe erhoben mit 1,243.

Der Winkel, welcher dieser Anlage entspricht, ist $a = 51^\circ$;

$\frac{1}{2} a = 25\frac{1}{2}^\circ$.

$Tang. \frac{1}{2} a = 0,477$; und für die Höhe $= 6$ Fuß: $h. Tang. \frac{1}{2} a = 2',862$.

Die erhobene Grundlinie war $= 2',803$.

Unterschied $= 0',059$.

Um zu erfahren, ob diese so locker als möglich aufgeschüttete Erde mit oder ohne *Cohaesion* gewirkt habe, werden wir vorerst nach der Theorie den Druck einer gleich hohen Anschüttung auf unser 3 Fuß breites Kastenthor nach dem in jedem Versuche erhobenen Gewichte der Erde und dem schon bekannten Winkel a unter der Voraussetzung berechnen, daß die *Cohaesion* gleich Null sey.

Der Durchschnitt aus den zwölf Versuchen gibt das Gewicht eines Kubik-Fuß Erde $p = 79,77$, und die Formel (8) gibt den Druck einer lockeren Anschüttung, die *Cohaesion* gleich Null gesetzt, auf die Breite von 3 Fuß:

$$3 P = \frac{3}{2} p h^2. Tang.^2 \frac{1}{2} a.$$

Substituirt man die Werthe für $p = 79,77$, $h = 6$, $Tang.^2 \frac{1}{2} a = 0,2275$; so wird

$$3 P = 979,974.$$

Unter der Voraussetzung, daß die *Cohaesion* gleich Null sey, wirkt diese Kraft mit dem Widerstande an dem nämlichen Hebelsarm, und kann daher mit diesem unmittelbar verglichen werden. Auf der Wagschale wurde (den 10^{ten} Versuch ausgeschlossen) die Wirkung im Durchschnitte erhoben mit 742,680 Pfund; hiervon muß jedoch noch der durch dieses Gewicht an der Rolle überwältigte Widerstand abgezogen werden.

Um dessen Werth zu finden, muß man wissen, daß der Halbmesser der Rolle sammt der halben Dicke des Strickes 2,25 Zoll, und der Halbmesser des Zapfens der Rolle 0,5 Zoll betrug; und weil die Reibung auf geglätteten Flächen $\frac{1}{3}$ des Druckes geschätzt wird, so ist dieser Widerstand

$$\frac{742,68 \times 0,5}{0,707 \times 3 \times 2,25} = 77,84 \text{ Pfund.}$$

Wird von dem auf der Wagschale erhobenen Gewichte
 von 742,680 Pfund
 der berechnete Widerstand an der Rolle abgezogen mit. . 77,840 »
 so verbleibt für den Widerstand = 664,840 Pfund.

Die Rechnung gibt aber den Druck der Erde ohne
Cohaesion mit 979,974 »

Der Unterschied beyder Wirkungen, der unter der gemachten Voraussetzung berechnet, und der durch eine Reihe von 11 Versuchen erhoben und außer allem Zweifel gesetzten, ist so groß, daß man denselben nur in der Einwirkung der *Cohaesion* zu suchen berechtigt ist.

Die *Cohaesion* dieser Erde hätte eigentlich bey jedem Versuche durch das Aufsuchen der steilsten Böschung, unter welcher sie sich in der Höhe von 6 Fuß standhaft zu erhalten vermag, gefunden werden sollen. Diese Erhebung ist zwar unmittelbar nicht gemacht worden, allein es wurde bey den Versuchen ausdrücklich angemerkt, wenn die Erde, nachdem das Thor niedergelassen worden war, nachgefallen sey, und unter welcher Böschung sie sich endlich erhalten habe. Wir finden daher in diesen Angaben die steilste Böschung, welche wir für die Berechnung der *Cohaesion* benöthigen, und müssen nur noch beyfügen, daß diese Angaben um so mehr Vertrauen verdienen, da sie bloß in der Absicht, alle bey den Versuchen beobachteten Erscheinungen genau anzugeben, und in einem Zeitpunkte gemacht worden sind, in welchem wir selbst noch nicht daran gedacht haben, aus der steilsten Böschung den Werth für die *Cohaesion* zu berechnen.

Weil aber in sechs dieser Versuche die *Cohaesion* bedeutend kleiner als in den sechs übrigen war; so werden wir jetzt, wo es unsere Absicht ist, den berechneten mit dem erhobenen Druck zu vergleichen, jene Versuche, in welchen bloß ein leeres Prisma schnell vollgefüllt worden ist, von denen trennen, in welchen die ganze Anschüttung frisch hergestellt wurde. Hiernach wenden wir uns zuerst zu den Versuchen: dem 8^{ten}, 9^{ten}, 11^{ten}, 12^{ten}, 14^{ten}, 15^{ten}, in welchen die *Cohaesion* kleiner als in den sechs übrigen war. Die Resultate dieser Versuche waren folgende:

Nro. des Versuches.		Anlage der steilsten Böschung auf die Einheit der Höhe.	Gewicht eines Kubik - Fuß Erde.	Erhobene Wirkung auf der Wagschale.	Anmerkung.
			Pfund.	Pfund.	
8 ^{te}	Tang. $\frac{1}{2} a = 0,477.$	0,538.	79,900.	761,5.	
9 ^{te}		0,500.	79,900.	744,5.	
11 ^{te}		0,566.	79,900.	731,5.	
12 ^{te}		0,816.	79,900.	947,5.	
14 ^{te}		0,590.	79,900.	675,0.	Die Wirkung zu klein.
15 ^{te}		0,475.	79,900.	871,0.	Die Wirkung zu groß.
Summe ...		3,485.	.....	4731,0.	
Durchschnitts - Zahlen aus sechs Versuchen.					
		0,5808.	79,9.	788,5.	

Wir sehen, daß in allen diesen Versuchen die Anlage der natürlichen Böschung und das Gewicht der Erde unverändert geblieben seyen, und nur die steilste Böschung, unter welcher sich die Erde in einer Höhe von 6 Fuß standhaft erhielt, gewechselt habe; die auf der Wagschale erhobene Wirkung folgt dem Wechsel der *Cohaesion* meistens angemessen, nur in dem 14^{ten} und 15^{ten} Versuche bemerkt man bedeutende Abweichungen, welche wahrscheinlich in einer fehlerhaften Erhebung der Wirkung liegen dürften. Da aber die eine Wirkung zu groß, die andere hingegen zu klein gefunden worden ist, und diese Fehler sich gegenseitig ausgleichen dürften; so haben wir sie nicht ausscheiden wollen.

Die Höhe, bis zu welcher die Erde sich unter einem gegebenen Winkel ϵ standhaft zu erhalten vermag, wurde in Herrn *Français* allgemeiner Auflösung mit h'' bezeichnet; h'' ist daher in dem gegenwärtigen Falle 6 Fuß; der Winkel ϵ aber, welcher hier durch die Anlage der steilsten

Böschung = 0,5808 bestimmt ist, findet sich zu $30,^{\circ} 1.66$, der Winkel a ist schon bekannt und gleich: 51° .

Wenn h'', ε und a bekannt sind, so kann die Formel (11) dazu dienen, um h' , das heißt: die Höhe zu finden, bis zu welcher die Erde unter gleichen Umständen sich in verticaler Lage zu erhalten vermag.

Es ist nämlich: aus (11.)

$$h' = h'' \cdot \frac{\sin.^2 \frac{1}{2} (a - \varepsilon)}{\cos. \varepsilon \cdot \sin.^2 \frac{1}{2} a}, \text{ die Werthe gesetzt:}$$

$$h' = 6' \cdot \frac{0,0327}{0,1599} = 1',224.$$

Ferner gibt die Formel (17) den allgemeinen Ausdruck für das Moment cohaerirender Erde, wenn die widerstehende Fläche wie immer geneigt voraus gesetzt wird. In dem gegenwärtigen Falle, und bey allen unseren Versuchen überhaupt, ist die widerstehende Fläche vertical; die Formel (11) verwandelt sich daher in folgende.

$$M = \frac{1}{2} p \cdot \text{Tang.}^2 \frac{1}{2} a \left[\frac{1}{3} (h - h')^2 (h + \frac{1}{2} h') \right].$$

Nun ist aber $p = 79,9$; $\text{Tang.}^2 \frac{1}{2} a = 0,2275$; $h = 6$; $(h - h') = 4,776$; $\frac{1}{3} (h - h')^2 = 7,630$; $(h + \frac{1}{2} h') = 6,612$; und daher das Moment, die Breite der Anschüttung gleich 1 gesetzt

$$M = 9,088 \times 50,271 = 456,862.$$

Da aber das Thor, gegen welches die Erde gewirkt hat, 3 Fufs breit ist, so muß das gefundene Moment noch mit 3 multiplicirt werden; das Moment ist daher $3 M = 1370,586$.

Im Durchschnitte war die auf der Wagschale erhobene Wirkung 788,5 Pfund.

Hiervon abgezogen der an der Rolle überwältigte Widerstand, wie oben berechnet mit 82,6 "

Verbleibt 705,9 Pfund.

Der Hebelsarm dieses Widerstandes ist = $2'$, folglich das Moment desselben $M' = 1411,8$.

Der Unterschied beyder Momente nämlich $M' - 3 M = + 41,214$.

Der gefundene Unterschied beyder Momente fällt nur darum so groß aus, weil man die Versuche 14 und 15, in welchen die Wirkung fehlerhaft erhoben worden ist, mit in die Berechnung gezogen hat. Denn wenn man aus den Versuchen 8, 9, 11, 12 die Durchschnittszahlen für die steilste Böschung und für die auf der Wagschale erhobene Wirkung sucht; so erhält man für die Anlage der steilsten Böschung 0,61, und für die auf der Wagschale erhobene Wirkung 796,2 Pfund.

Die Anlage der steilsten Böschung bestimmt den Winkel $\varepsilon = 31^{\circ},375$.

Und wenn die Rechnung wie oben ausgeführt wird; so findet man
 $h' = 1',082 \dots\dots\dots M = 479,237; 3 M = 1437,701$.

Die erhobene Wirkung war im Durchschnitt $\dots\dots\dots 796,2$ Pfund.

Hiervon der Widerstand an der Rolle
 abgezogen mit $\dots\dots\dots 83,4$ „

Verbleibt $\dots\dots 712,8$ Pfund.

Und das Moment dieser Kraft $\dots\dots\dots M' = 1425,6$.

Der Unterschied beyder Momente $\dots\dots M' - 3 M = - 12,1$.

Die berechnete Wirkung fällt hiernach etwas größer aus als die erhobene, und läßt schließen: daß die Anlage der steilsten Böschung etwas wenig zu groß beobachtet worden seyn müsse, was bey einer so äußerst beweglichen Erde nicht leicht zu vermeiden war.

Wir haben oben nach einem Durchschnitte aus 12 Versuchen den Druck einer gleich hohen Anschüttung von der nämlichen Erde ohne *Cohesion* mit 979,9 Pfund berechnet; folglich wäre das Moment dieses Druckes $= \dots\dots\dots 1959,8$.

Der erhobene Widerstand war 664,8 Pfund, und das Moment desselben ist $= \dots\dots\dots 1329,6$.

Der Unterschied beyder Momente $= 630,2$.

Vergleicht man diesen Unterschied mit den oben gefundenen, wenn die *Cohesion* in Rechnung gebracht wird; so wird man hoffentlich nicht nur nicht zweifeln, daß selbst bey sehr trockener und lockerer Erde die *Cohesion* die Wirkung des Erddruckes bedeutend vermindere, sondern auch eingestehen müssen, daß Versuche über den Erddruck angestellt,

ohne die *Cohaesion* in allen Fällen erheben und in Rechnung bringen zu können, für die Wissenschaft nur wenig oder gar keinen Werth haben konnten.

Die Resultate der sechs folgenden Versuche waren:

Nro. des Versuches.	Tangente des halben Winkels.	Anlage der steilsten Böschung auf die Einheit der Höhe.	Gewicht eines Kubik-Fuß Erde.	Erhobene Wirkung auf der Wagschale.	Anmerkung.
			Pfund.	Pfund.	
4 ^{te}	Tang. $\frac{1}{2} a = 0,477$.	0,616.	79,125.	697.	Mifslungen.
5 ^{te}		0,520.	79,125.	706,5.	
6 ^{te}		0,583.	79,900.	679.	
7 ^{te}		0,416.	79,900.	664.	
10 ^{te}		—	—	—	
11 ^{te}		0,500.	79,900.	692.	
Summe...		2,635.	397,950.	3438,5.	
Durchschnittszahlen aus fünf Versuchen.					
		0,527.	79,590.	687,7.	

Die Anlage der steilsten Böschung, wie sie der Durchschnitt aus fünf Versuchen gibt, ist 0,527, und läßt den Winkel ε durch $27^{\circ},77$ finden.

Der Winkel $a = 51^{\circ}$.

$$\varepsilon = 27^{\circ},77.$$

$$(a - \varepsilon) = 23^{\circ},23; \frac{1}{2} (a - \varepsilon) = 11^{\circ},615.$$

$$\text{Sin. } \frac{1}{2} (a - \varepsilon) = 0,201; \text{Sin.}^2 \frac{1}{2} (a - \varepsilon) = 0,0404; \text{Cos. } \varepsilon = 0,8844.$$

$$\text{Sin. } \frac{1}{2} a = 0,43; \text{Sin.}^2 \frac{1}{2} a = 0,1849.$$

$h'' = 6'$. Es ist daher

$$h' = h'' \frac{\text{Sin.}^2 \frac{1}{2} (a - \varepsilon)}{\text{Cos. } \varepsilon \cdot \text{Sin.}^2 \frac{1}{2} a} = 6' \cdot \frac{0,0404}{0,1635} = 1',482.$$

Das Moment des Druckes *cohaerirender* Erde

$$M = \frac{1}{2} p \cdot \text{Tang.}^2 \frac{1}{2} a \left[\frac{1}{3} (h - h')^2 (h + \frac{1}{2} h') \right].$$

Und weil: $p = 79,59$; $\text{Tang.}^2 \frac{1}{2} a = 0,2275$; $h = 6'$, folglich $(h - h') = 4',518$. Weil ferner $\frac{1}{3} (h - h')^2 = 6,804$; $(h + \frac{1}{2} h') = 6,741$; so ist: $M = 9,053 \times 45,865 = 415,215$; und $3M = 1245,645$.

Die auf der Wagschale erhobene Wirkung war im Durchschnitt 687,7 Pfund.

Hiervon der Widerstand an der Rolle, wie oben berechnet, abgezogen mit 72,2 »

Verbleibt 615,5 Pfund.

Das Moment des erhobenen Widerstandes . . . $M' = 1231,0$.

Der Unterschied beyder Momente . . . $M' - 3M = -14,6$.

3^{ters}. *Vollkommen trockene lockere Dammerde, die Anschüttung höher als das Hinderniß.*

Von den vier Versuchen dieser Art muß der 20^{te} Versuch ausgeschieden werden, in welchem die Wirkung offenbar zu klein erhoben worden ist; die übrigen drey Versuche geben folgende Resultate:

N ^o . des Versuches.	Tangente des halben Winkels.	Grundlinie des abgefallenen Erd-Prisma's.	Gewicht eines Kubik-Fußs Erde.	Erhobene Wirkung auf der Wagschale.	Anmerkung.
		Fußs.	Pfund.	Pfund.	
17 ^{te}	$\text{Tang.} \frac{1}{2} a = 0,477$	5',1.	80,5.	1312.	
18 ^{te}		5,1.	80,5.	1312.	
19 ^{te}		5,07.	80,5.	1462.	
Summe . . .		15,27.	.....	4086.	
Durchschnittszahlen aus drey Versuchen.					
		5',09.	80,5.	1362.	

Da $Tang. \frac{1}{2} a = 0,477$ erhoben wurde, so ist in diesen Versuchen:

$$h. Tang. \frac{1}{2} a = 10' \times 0,477 = \dots\dots\dots 4',77.$$

Die Grundlinie des abgefallenen Erd-Prisma's war $= \dots\dots\dots 5',09.$

Folglich grösser als die berechnete um $\dots\dots\dots 0',32.$

Die auf der Wagschale erhobene Wirkung war im Durchschnitte 1362; es muß nun vorerst untersucht werden, ob die Erde mit oder ohne *Cohäsion* gewirkt habe.

Um den Druck überhörender Anschüttungen zu berechnen, muß zuerst das von der Ueberhöhung abgefallene Erd-Trapez in ein ihm gleiches verwandelt werden, dessen zwey nicht gleichlaufende Seiten in den Verlängerungen der verticalen und schiefen Seite des Prisma's vom größten Drucke liegen. Sucht man unter dieser Bedingung die Höhe eines solchen Trapezes, so findet man selbe in dem vorliegenden Falle gleich 2',155. Die Höhe der Anschüttung, welche für den Druck in Rechnung zu bringen ist, ist daher

$$h = 6' + 2',155 = 8',155.$$

Und das Moment des Druckes einer lockeren Anschüttung, die *Cohäsion* = Null gesetzt, auf die Breite unseres Kastens = 3';

$$3 M = 3 \times \frac{1}{2} p. Tang.^2 \frac{1}{2} a \frac{h^3}{3}.$$

Substituirt man die erhobenen Werthe für p ; $Tang. \frac{1}{2} a$; und h , so findet man $\dots\dots\dots 3 M = 4966,089.$

Die auf der Wagschale erhobene Wirkung war im Durchschnitte $\dots\dots\dots 1362,00$ Pfund.

Hiervon der Widerstand an der Rolle, wie früher berechnet, abgezogen mit $\dots\dots\dots 142,76$ „

Verbleibt $\dots\dots\dots 1219,24$ Pfund.

Das Moment dieses Widerstandes. $\dots\dots\dots M' = 2438,48.$

Der Vergleich beyder Momente liefert die Ueberzeugung, daß die Erde mit einer bedeutenden *Cohaesion* gewirkt haben müsse.

Die *Cohaesion* wurde jedoch nicht besonders erhoben, und in der Beschreibung der Versuche ist es auch ausdrücklich angemerkt worden, daß die Erde bey dem Ausräumen, nachdem das Thor ganz niedergelassen

war, nicht nachgefallen sey, sondern sich in einer Böschung erhalten habe, welche die Hypothenuse des Prisma's vom größten Drucke bildete.

Wahrscheinlich würde sich daher die Erde noch steiler haben abböschten lassen; in dieser Vermuthung wird man auch durch die Betrachtung bestärkt, daß die steilste Böschung der nähmlichen Erde bey dem gleichen Winkel α , und einer Höhe von 6 Fuß, auf die Einheit der Höhe im Durchschnitte aus 11 Versuchen 0,55 gewesen sey, also von der in diesen Versuchen beobachteten von 0,509 nur wenig verschieden war, obwohl die Höhe der Anschüttung dermahl 10 Fuß betragen hatte.

Daß die *Cohaesion* wirklich größer gewesen seyn müsse, als sie sich aus der beobachteten Anlage der Böschung des abgefallenen Prisma's berechnen läßt; kann auch durch den Vergleich des durch Rechnung zu findenden Druckes und des beobachteten Widerstandes nachgewiesen werden.

Nimmt man nähmlich an, daß die Anlage der Böschung des abgefallenen Erd-Prisma's zugleich die Anlage der steilsten Böschung gewesen sey, in welcher die Erde auf 10 Fuß Höhe sich standhaft zu erhalten vermocht hätte; so findet man nach dieser Annahme

$$h' = 2',621.$$

Und bringt man ferner diesen Werth von h' in Rechnung; so findet man 3 $M = 2654,313$.

Die auf der Wagschale erhobene Wirkung war nach Abschlag des Widerstandes an der Rolle = 1219,24.

Und das Moment desselben. $M' = 2438,48$.

Da nun das Moment des berechneten Druckes größer ausfällt, als das Moment der beobachteten Wirkung; so muß, da Alles übrige unveränderlich ist, die *Cohaesion* größer gewesen seyn, als wie man sie so eben in Rechnung gebracht hat.

Daß die Grundlinie des Prisma's vom größten Drucke, der Erhebung zu Folge um $\frac{32}{100}$ größer ausfällt, als die Theorie angibt, ließe sich zwar aus dem Umstande erklären, daß bey dem Absturze eines 10 Fuß hohen und dabey äußerst lockeren Erdkörpers nothwendiger Weise einige Erdtheile der nicht drückenden Erde durch die schnellere Bewegung der fallenden mit abgerissen werden müssen; da aber die so eben erörterten Ver-

suche auch in Bezug auf den Druck selbst keine erläuternde Aufschlüsse geben konnten, es aber doch wichtig schien, zu erfahren, ob der Druck der Erde bey überhöhenden Anschüttungen nach eben den Gesetzen wirke, welche die Theorie voraussetzt; so hat man derley Versuche noch nachträglich angestellt, in welchen die *Cohaesion*, die natürliche Böschung und das Gewicht der Erde jedesmahl genau erhoben worden sind.

Allein, obwohl diese Versuche mit allen Erfahrungen ausgerüstet unternommen wurden, welche man in Hinsicht auf die Manipulation bey der Erhebung in so vielen vorhergegangenen Versuchen sich zu erwerben die Gelegenheit gehabt hatte; so mißlangen doch unter sieben Versuchen drey in Bezug auf die Erhebung der Wirkung auf der Wagschale. Die Ursachen sind in der Beschreibung der Versuche angegeben; weil aber alle übrigen Erhebungen vollkommen genau bey allen sieben Versuchen ausgefallen waren, so können wir sie für die Berechnung der *Cohaesion* und des Gewichtes immer noch benützen, wodurch wir diese wichtigen Factoren mit desto größerer Schärfe zu bestimmen im Stande seyn werden.

Diese Versuche wurden mit etwas feuchter Dammerde gemacht, bey welcher sich die *Cohaesion* im lockeren Zustande der Anschüttung durch das Aufsuchen der steilsten Böschung mit mehr Genauigkeit finden läßt, als bey der staubtrockenen Erde.

Die Erhebung der *Cohaesion* wurde, wie es in der Beschreibung der Versuche angemerkt wurde, mit der in dem Kasten zurück gebliebenen Erde vorgenommen, indem man die steilste Böschung auf eine Höhe von 10 Fuß suchte, welche Höhe nähmlich die Anschüttung selbst gehabt hatte. Es muß hier noch bemerkt werden, daß, obwohl die Versuche erst in dem Monate December vorgenommen worden sind, die Witterung gelinde war, und der Thermometer mehrere Grade über dem Eispuncte zeigte.

Die Ergebnisse der Versuche waren folgende:

Nro. des Versuches.	Anlage der natürlichen Böschung auf die Einheit der Höhe.	Tangente des halben Winkels.	Grundlinie des abgefallenen Erd-Prisma's.	Anlage der steilsten Böschung auf die Einheit der Höhe.	Gewicht eines Kubik-Fußs Erde.	Die auf der Wagschale erhobene Wirkung.	Anmerkung.
			Fufs.		Pfund.	Pfund.	
51 ^{te}	1,133.	Tang. $\frac{1}{2} a = 0,45.$	4',4.	0,300.	71,73.	—	Mifslungen.
52 ^{te}	1,133.		4,7.	0,300.	70,30.	—	Mifslungen.
53 ^{te}	1,133.		4,55.	0,300.	71,10.	394,0.	
54 ^{te}	1,133.		4,4.	0,250.	71,50.	—	Mifslungen.
55 ^{te}	1,133.		4,6.	0,250.	71,30.	419,0.	
56 ^{te}	1,133.		4,79.	0,275.	72,40.	417,0.	
57 ^{te}	1,133.		4,1.	0,250.	71,40.	390,0.	
.....	.....	..	31,54.	1,925.	499,73.	1620.	.....
Durchschnittszahlen.							
	1,133.	..	4,506.	0,275.	71,39.	405.	.....

Die erhobene Anlage der natürlichen Böschung bestimmt den Winkel a mit $48\frac{1}{2}^\circ$; daher ist $\frac{1}{2} a = 24\frac{1}{4}^\circ$, und $Tang. \frac{1}{2} a = 0,4502$.

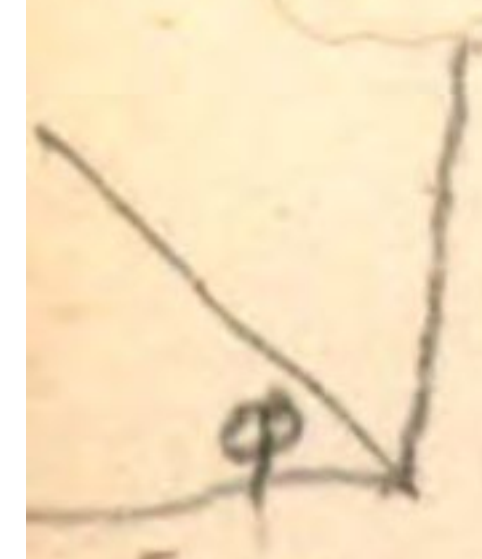
Die Grundlinie des Prisma's vom größten Drucke wird daher der Theorie zu Folge $= h \cdot Tang. \frac{1}{2} a$, und weil $h = 10'$ ist, $..... = 4',502$.

Die Grundlinie des abgefallenen Erd-Prisma's wurde im Durchschnitte aus 7 Versuchen beobachtet mit. $..... 4',506$.

Diese vollkommene Uebereinstimmung zeigt, daß die Voraussetzungen der Theorie auch bey überhöhenden Anschüttungen richtig seyen, und dieß beweiset auch noch der Vergleich der berechneten und erhobenen Wirkung.

Denn die Anlage der steilsten Böschung, welche im Durchschnitte aus 7 Versuchen gefunden wurde, bestimmt die Größe des Winkels s mit $15^\circ,368$.

90
- 48 $\frac{1}{2}$
41 $\frac{1}{2}$ ° = ϕ



Es ist daher $(a - \varepsilon) = 33^{\circ}, 132$; $\frac{1}{2}(a - \varepsilon) = 16^{\circ}, 566$.

$\sin. \frac{1}{2}(a - \varepsilon) = 0,284$; $\sin.^2 \frac{1}{2}(a - \varepsilon) = 0,081$.

$\cos. \varepsilon = 0,964$.

$\sin. \frac{1}{2}a = 0,411$; $\sin.^2 \frac{1}{2}a = 0,169$; und

daher $h' = h'' \frac{\sin.^2 \frac{1}{2}(a - \varepsilon)}{\cos. \varepsilon \cdot \sin.^2 \frac{1}{2}a} = 10 \times \frac{0,081}{0,163} = 4', 969$.

Verwandelt man das von der Ueberhöhung abgefallene Trapez in eines von gleichem Flächenmaße, dessen zwey nicht gleichlaufende Seiten in den Verlängerungen der verticalen und schiefen Seite des Prisma's vom größten Drucke liegen; so findet man in dem vorliegenden Falle die Höhe dieses Trapezes $= 2', 02$.

Die für den Druck in Rechnung zu bringende Höhe der Anschüttung ist daher

$$h = 6' + 2', 02 = 8', 02.$$

Ferner ist $\text{Tang.} \frac{1}{2}a = 0,45025$, $\text{Tang.}^2 \frac{1}{2}a = 0,2037$.

$(h - h') = 3,051$; $\frac{1}{3}(h - h')^2 = 3,1028$; $(h + \frac{1}{2}h') = 10,5045$.

$\frac{1}{2}p \cdot \text{Tang.}^2 \frac{1}{2}a = 7,271$; daher

$M = \frac{1}{2}p \cdot \text{Tang.}^2 \frac{1}{2}a \left[\frac{1}{3}(h - h')^2 (h + \frac{1}{2}h') \right] = 7,271 \times 32,5933 = 237,9958$.

$$3M = 713,987.$$

Schon von dem 27^{ten} Versuche angefangen hatte man an der Rolle einen stärkeren Strick anbinden müssen, weil der zuerst gebrauchte schon sehr gelitten hatte; der Halbmesser der Rolle sammt der halben Dicke des Strickes betrug demahlen 2', 5 Zoll, welches hier bemerkt werden muß, weil nunmehr und in der Folge bey der Berechnung des Widerstandes an der Rolle diese Ausmaße in Rechnung gebracht werden muß.

Die auf der Wagschale erhobene Wirkung war im Durchschnitte aus 7 Versuchen 405 Pfund.

Der durch dieses Gewicht zugleich an der Rolle über-

$$\text{wältigte Widerstand} = \frac{405 \times 0,5}{0,707 \times 3 \times 2,5} = \dots\dots\dots 38,207 \text{ „}$$

Verbleibt 366,793 Pfund.

Das Moment dieses Widerstandes, welcher an einem Hebelsarm von 2' Länge gewirkt hatte, ist daher $M' = 733,586$.

Der Unterschied beyder Momente $M' - 3 M = + 19,599$.

Dieses Resultat zeigt: daß trotz aller angewendeten Vorsicht die Wirkung auf der Wagschale noch immer etwas zu groß erhoben worden sey; das berechnete Moment des Druckes stimmt aber genau mit dem Momente der in dem 53^{ten} Versuche mit 394 Pfund beobachteten Wirkung überein.

Wenn man die *Cohaesion* = 0 setzt, so gibt die Rechnung das Moment des Erddruckes mit 3750,738.

Der Vergleich der in den Versuchen beobachteten, mit der unter der Voraussetzung, daß die *Cohaesion* = 0 sey, berechneten Wirkung liefert einen noch auffallenderen Beweis, als die früheren Untersuchungen, wie groß die *Cohaesion* der lockeren Erde seyn könne, und wie bedeutend durch dieselbe der Seitendruck der Erde vermindert werde.

Die mit Anschüttungen von lockerer vollkommen trockener und natürlich feuchter Dammerde angestellten Versuche beweisen:

- a) Daß Herrn *Prony's* Voraussetzung: die natürliche Böschung der Erde bestimme die Lage der Reibungsebene der Erde; so wie Herrn *Coulomb's* theoretischer Satz: der Seitendruck der Erde werde nur durch jenes Prisma bewirkt, welches bey einer bekannten Reibung den größten Druck ausübt; vollkommen richtig seyen.

Denn wir haben gefunden, daß die Grundlinie des von der Anschüttung nach bewirktem Drucke abgefallene Erd-Prisma's durch die *Tangente* des halben Winkels a bestimmt werde, und folglich das abgefallene Erd-Prisma jenes des größten Druckes, nach Herrn *Prony's* Voraussetzung und Herrn *Coulomb's* Theorie, gewesen sey.

- b) Daß Anschüttungen von lockerer Erde, diese möge natürlich feucht oder auch staubtrocken seyn, doch eine bedeutende *Cohaesion* anzunehmen fähig seyen, deren Werth mit der Höhe der Anschüttung zunimmt.
- c) Sie zeigen ferner, daß man die Grösse der *Cohaesion*, selbst lockerer Erde, in allen Fällen erheben könne, und wie man dabey zu Werke gehen müsse.

d) Beweisen sie die vollständige Uebereinstimmung der Theorie mit den Erscheinungen der Natur, wenn alle Daten richtig erhoben, und nach den vom Herrn *Français* entwickelten Formeln in Rechnung gebracht werden. Um die *Cohaesion* lockerer Erde zu finden, muß man sie jedesmahl bey der Höhe erheben, welche die herzustellende Anschüttung erhalten soll. Mehrere Versuche über die *Cohaesion* werden wahrscheinlich das Gesetz kennen lernen, nach welchem alle übrigen Umstände gleich gesetzt, die *Cohaesion* der lockeren Erde mit der Höhe der Anschüttung wachse, und dann wird man aus der bekannten *Cohaesion*, welche die lockere Erde bey einer bestimmten Höhe anzunehmen fähig ist, auf jene von jeder beliebigen Höhe der Anschüttung schließen können.

4^{ten}. Staubtrockene lockere Dammerde, gegen eine nicht in Mörtel gelegte Ziegelmauer drückend, wenn die Anschüttung mit der Mauer gleich hoch ist.

In dem 21^{ten} Versuche wurde eine trockene Ziegelmauer von 6 Fuß Höhe aufgeführt, welcher man 1',4 zur Dicke gab, und hinter derselben eine gleich hohe Anschüttung von staubtrockener lockerer Dammerde aufführte. Nimmt man an, daß die *Cohaesion* der Erde dieselbe gewesen sey, wie in den Versuchen 8, 9, 11, 12, was um so mehr angehen kann, da die Erde selbst die Höhe der Anschüttung, so wie der Zustand derselben bis auf eine kleine Verminderung des Gewichtes unverändert geblieben sind, und die Anschüttung so wie in den erwähnten Versuchen hergestellt wurde; so findet man nach der Theorie die Mauerdicke für den Stand des Gleichgewichtes, wie folgt:

Das Gewicht eines Kubik-Fuß trockenen Ziegelmauerwerkes wurde mit 76,43 Pfund, und das Gewicht eines Kubik-Fuß trockener Erde mit 80,5 Pfund erhoben; der Schüttwinkel α für diese Erde ist 51° , und die *Cohaesion* nach den oben erwähnten Versuchen bey 6 Fuß Höhe der Anschüttung $h' = 1',082$.

Hiernach findet man das Moment der Mauer auf 3 Fuß Breite $= 687,87 x^2$, wo x die Mauerdicke ausdrückt; das Moment des Erddruckes

$$3 M = 9,1568 \times 54,113 \times 3 = 1486,506.$$

Für den Stand des Gleichgewichtes ist daher

$$687,87 x^2 = 1486,506.$$

$$x^2 = 2,1607.$$

$$x = 1',470, \text{ nahe } 1',50.$$

Die Mauer war jedoch nur 1',4 dick hergestellt geworden, man bemerkte bey dem Versuche, daß, obwohl sie sich um 8 Linien vorwärts geneigt hatte, als die Anschüttung die Höhe von 6 Fuß erreichte, sie doch noch mit einer überhöhenden Anschüttung von 2',2 Höhe belastet werden mußte, um umgestürzt zu werden. Wir haben übrigens schon bey den Versuchen selbst erwähnt, daß die Neigung einer locker zusammen geschlichteten Ziegelmauer nicht als ein Beweis, daß selbe zu schwach sey, angesehen werden könne, und dieser Versuch bestätigt diese Meinung. Wir können diesen Gegenstand nicht verlassen, ohne vorher noch einige Vergleichen mit anderen Theorien angestellt zu haben.

Wenn wir bey den Annahmen der älteren *Ingenieure* bleiben, die für die gewöhnliche Erde die natürliche Böschung mit 45° voraus setzen, und das Verhältniß des Mauergewichtes zu jenem der Erde wie 3:2 fest setzen; so würde, alle übrigen Umstände gleich gesetzt, die Mauerdicke in dem 21^{ten} Versuche gefunden werden, für den Stand des Gleichgewichtes nach Herrn *Belidor* $x = 2'$; Herrn *Querlonde* $x = 2'$; beyde um 0',53 stärker als die unsere, obwohl sie auf Annahmen beruhen, welche zum Theil zum Nachtheil der Stabilität sind.

Nach Herrn *Mayniel* wäre für den Stand des Gleichgewichtes mit Beybehaltung der voraus erhobenen Gewichte

$x = 1',998$, also ebenfalls stärker als die richtige Theorie der Mauerdicke selbst dann finden läßt, wenn man die *Cohaesion* nicht beachtet.

Der 21^{te} Versuch hat übrigens auch den Beweis geliefert, daß eine Mauer, wenn sie dem Drucke der Erde weicht, umgestürzt werde, indem sie sich dabey um ihre äußere unterste Kante drehet.

In dem 23^{ten} Versuche war die Erde feucht, ein Kubik-Fuß hatte gewogen 67 Pfund; ein Kubik-Fuß trocken geschlichteter Ziegel hatte, wie früher, ein Gewicht von 76,43 Pfund; der Schüttwinkel α wurde erhoben mit 51° ; die Mauer war an beyden Seiten vertical, und wurde so wie die

Anschüttung 18 Fuß hoch gemacht. Setzet man die *Cohaesion* der lockeren Erde gleich Null; so wird nach der wahren Theorie das Moment des Druckes der Erde $M = 7,621 \times 324 \times 6 = 14815,224$.

Das Moment der Mauer, wenn die Mauerdicke $= x$ ist;

$$M' = 687,87 \cdot x^2.$$

Für den Stand des Gleichgewichtes ist daher

$$687,87 x^2 = 14815,224.$$

$$x = 4',64.$$

Nach Herrn *Belidor* findet man unter gleichen Umständen, jedoch unter den oben erwähnten Voraussetzungen:

$$x = 6',00.$$

Nach Herrn *Querlonde* eben so

$$x = 6',00.$$

Nach Herrn *Mayniel* die Gewichte der Mauer und der Erde so in Rechnung gebracht, wie selbe erhoben worden sind:

$$x = 6',00.$$

Man gab jedoch der Mauer in dem 23^{ten} Versuche nur eine Dicke $x = 4',2$, und der Erfolg hatte bewiesen, daß das Gleichgewicht wirklich Statt fand. Nachdem die Mauer eine gleich hohe Anschüttung durch 8 Stunden standhaft getragen hatte, konnte sie nur durch eine überhöhende Anschüttung von 4',5 Höhe umgestürzt werden.

In Herrn *Mayniels* Versuchen kommt einigemahle der Umstand vor, daß Mauern, welche eine anfängliche Neigung erhalten hatten, mit der Zeit umgefallen sind, und er folgert daraus, daß sie ursprünglich zu schwach gewesen seyen, um dem Druck der Erde zu widerstehen. Wenn diese Folgerung richtig wäre, müßte man diese unsere Mauern gleichfalls für zu schwach erklären.

Um die Sache durch einen Versuch aufzuklären, wurde am 12^{ten} October ein solcher vorgenommen.

Man hatte das Thor des Apparates niedergelassen, so, daß dasselbe horizontal auflag, um wie in dem 21^{ten} Versuche der darauf aufzuführenden Mauer eine unwandelbare Grundlage zu geben. Die Mauer bestand aus trocken zusammen gelegten Ziegeln, und war an beyden Seiten vertical

aufgeführt; die Stabilität derselben wurde mit einer gleich hohen Anschüttung von sehr trockenem Sande im Gleichgewichte stehend, berechnet, man brachte jedoch die ohnehin geringe *Cohaesion* dieses Sandes nicht in Rechnung, wodurch der Widerstand der Mauer etwas gröfser ausfiel, welcher Umstand aber durch die Ungleichförmigkeit der Fugen zum Theil ausgeglichen wurde.

Als die Anschüttung die Höhe von 6 Fuß erreicht hatte, neigte sich die Mauer um 3 Linien vorwärts. Man ließ sie nun stehen, und beobachtete von Zeit zu Zeit, ob die Neigung zugenommen habe. Als aber die Mauer vom 12^{ten} October bis 27^{ten} November gestanden hatte, ohne daß die anfängliche Neigung auch nur im geringsten zugenommen hatte, wurde sie wieder abgetragen.

Wir ersuchen zu bemerken, daß wir zu diesem Versuche sehr trockenen Sand verwendet haben, bey welcher Erdgattung die *Cohaesion* mit der Zeit wenig oder gar nicht zunimmt, während bey der Damm- und Lehm-erde die Zunahme der *Cohaesion* mit der Zeit bedeutend wird, und daher der Druck der Erde von Tag zu Tag abnimmt, während der Widerstand der Mauer der nämliche bleibt.

Dieser Versuch beweiset, daß das Umstürzen der Mauern noch längere Zeit, wenn sie auch anfänglich sich etwas geneigt haben, nur in einem Fehler des Fundamentes zu suchen sey, welches mehr und mehr gewichen seyn muß. Daß dieß in den Versuchen des Herrn *Mayniel* der Fall wirklich gewesen seyn könne, gehet aus der Beschreibung seiner Versuche hervor.

Die Theorie setzt aber voraus, daß das Fundament unwandelbar sey, darum muß bey Versuchen dieser Art auf einen so wichtigen Gegenstand eine besondere Rücksicht genommen werden, um nicht statt Aufklärung Verwirrung in die Wissenschaft zu bringen.

5^{tes}. Fest gestossene staubtrockene Dammerde.

In dem 22^{ten} Versuche haben wir gesehen, daß eine aus staubtrockener Erde hergestellte Anschüttung, welche lagenweise so fest als möglich gestossen worden war, nicht nur in einer Höhe von 6 Fuß sich standhaft in verticaler Lage erhielt, sondern noch überdieß auf einer Fläche von 9 Quadrat-Fuß am vorderen Rande mit 4400 Pfund belastet werden konnte,

ohne dabey mehr als um 1 Linie von der verticalen Richtung abzuweichen. Es frägt sich nun: wie hoch würde man diese Anschüttung, eben so fest gestossen, haben aufführen können, damit die äussere Fläche derselben noch immer in verticaler Lage sich erhalten hätte.

Da unser Erdkasten 3 Fufs breit war, so betrug die Belastung am vorderen Rande auf das Profil: $\frac{4400}{3}$ Pfund = 1466,6 Pfund.

Und verwandelt man dieses Gewicht in einen gleichschweren Erdkörper, dessen Länge 3 Fufs beträgt, und dessen Höhe zu suchen ist; so wird, wenn man diese Höhe x nennet, und weil in dem 22^{ten} Versuche ein Kubik-Fufs fest gestossener Erde 96,6 Pfund schwer war:

$$x = \frac{1466,6}{96,6 \times 3} = 5',06.$$

Und die ganze Höhe, bis zu welcher diese Erde fest gestossen sich vertical zu erhalten im Stande ist, wird sonach

$$h' = 6',0 + 5',06 = 11',06.$$

In dem 26^{ten} Versuche hatte man die *Cohaesion* der nähmlichen Erde in dem Apparate auf den Quadrat-Fufs erhoben, und gefunden, daß die *Cohaesion* auf den Quadrat-Fufs, welche in der Theorie durch c ausgedrückt wird, sey:

$$c = 96,8 \text{ Pfund.}$$

Sucht man aus dem bekannt gewordenen h' des 22^{ten} Versuches nach der Formel (9) die *Cohaesion* auf einen Quadrat-Fufs; so ist, weil

$$c = \frac{1}{4} p h' \cdot \text{Tang. } \frac{1}{2} a, \text{ und}$$

in diesem Versuche $p = 80,5$ Pfund. $h' = 11',06$. $\text{Tang. } \frac{1}{2} a = 0,477$ war;

$$c = 106,171 \text{ Pfund.}$$

also bedeutend grösser, als in dem 26^{ten} Versuche, wo die *Cohaesion* in dem Apparate erhoben wurde; diese Verschiedenheit liegt jedoch in dem verschiedenen Grade von Verdichtung, welche die Erde in diesen beyden Versuchen erhalten hatte.

In dem 22^{ten} Versuche betrug die Verdichtung 0,2 des Volums oder des Gewichtes der lockeren Erde.

In dem 26^{ten} hingegen, in welchem 1 Kubik-Fufs lockerer Erde 79,56 Pfund, und 1 Kubik-Fufs fest gestossener Erde 89,92 Pfund gewogen hatte,

betrug die Verdichtung nur 0,13 des Volums oder Gewichtes der lockeren Erde; und die *Cohaesion* auf die Einheit der Fläche war hier auch kleiner als in dem ersteren Versuche.

Diese beyden Versuche lehren uns; *dass alle Umstände gleich gesetzt, die Cohaesion mit der Verdichtung zunehme*; jedoch stehen die Zahlen, welche die Verdichtung ausdrücken, nicht im geraden Verhältnisse mit den Zahlen, welche die *Cohaesion* auf dem Quadrat-Fuß ausdrücken; die *Cohaesion* scheint nämlich langsamer als die Verdichtung zu wachsen.

Bey dem 49^{ten} Versuche, in welchem man den Widerstand einer trockenen Ziegelmauer mit dem Drucke einer fest gestossenen Anschüttung von natürlich feuchter Dammerde in das Gleichgewicht setzte, hatte man Sorge getragen, der 18 Fuß hohen Anschüttung in jeder Erdlage die gleiche Verdichtung zu verschaffen, welche die nämliche Erde früher in dem Apparate erhalten hatte, und dieser Versuch war so vollkommen gelungen, daß alle Erwartungen übertroffen wurden.

Da aber in diesem Versuche alle physischen Ursachen, welche auf den Erddruck Einfluß nehmen, nämlich das Gewicht der Erde, die Reibung und die *Cohaesion* derselben, nach der Theorie von *Coulomb* in Rechnung gebracht worden waren; so hat derselbe den vollständigsten Beweis für die Richtigkeit dieser Theorie geliefert, zugleich aber auch gezeigt, daß die von uns angewendeten Mittel geeignet seyn, alle diese Daten genau zu erheben. Diese Mittel sind dabey auch so einfach, daß die Berechnung des Erddruckes keiner Schwierigkeit mehr unterworfen ist; denn sie bestehen in der Abwägung einer Anzahl von Kubik-Fuß lockerer Erde, in der Erhebung der natürlichen Böschung und der Erhebung der *Cohaesion*, letztere in einem Apparate, dessen Herstellung wenig Kosten verursacht, und von jedem Zimmermanne bewirkt werden kann.

Die Theorie setzt voraus, daß die *Cohaesion* der Erde auf die Einheit der Fläche eine beständige GröÙe sey, deren Wirkung durch die GröÙe der Fläche, auf welcher sie in Anspruch genommen wird, sich bestimme; die Erfahrung hat auch, besonders in dem großen 49^{ten} Versuche die Richtigkeit dieser Voraussetzung bestätigt. Demungeachtet könnten gegen dieselbe folgende Zweifel aufgeworfen werden:

1^{tes}. Soll man die *Cohaesion* nicht als eine veränderliche Grösse voraussetzen, da doch die unteren Erdschichten mehr gedrückt werden als die höheren, daher dichter seyn müssen, und folglich auch eine grössere *Cohaesion* haben werden?

2^{tes}. Wie kommt es, daß, wenn die *Cohaesion* eine beständige Grösse ist, alle Anschüttungen, selbst die mit der größten Sorgfalt gestossenen, sich dennoch setzen?

Beide Fragen lassen sich folgender Massen beantworten:

Besteht die Anschüttung aus lockerer Erde, dann werden zwar ohne Zweifel die tieferen Erdschichten durch den Druck der oberen mehr verdichtet, und mithin auch mehr cohaerirend seyn, als die oberen; mit der *Cohaesion* verhält es sich dann eben so, wie mit der Reibung, welche eben so in den tieferen Schichten grösser ist, als in den höheren; betrachtet man aber die Reibung als entstanden durch das zusammen gesetzte Gewicht des ganzen Erdkörpers; so erhält dieselbe einen mittleren Werth, welcher alle übrigen Werthe der Reibung einzelner Schichten in sich begreift. Auf gleiche Weise kann man die *Cohaesion* der einzelnen Erdschichten auf eine mittlere bringen, welche als eine Folge des Gesamtdruckes sich äussert, und Resultate gibt, die mit der Erfahrung vollkommen übereinstimmen.

Ist die Erde aber fest gestossen, und hat dadurch einen bestimmten Grad von Verdichtung erhalten, welchen ein bestimmter Grad von *Cohaesion* entspricht; so könnte, da die künstliche Verdichtung durch den Stoss bewirkt worden ist, nur eine sehr grosse Ueberhöhung, durch den ruhigen Druck allein eine grössere Verdichtung erzeugen; in diesem Falle ist daher die *Cohaesion* in jeder Erdlage als ein und dieselbe beständige Grösse anzusehen.

Die Ursache, warum alle Anschüttungen sich setzen, selbst diejenigen, welche mit der größtmöglichen Sorgfalt angestossen worden sind, ist in dem Verdünsten der anfänglich enthaltenen Feuchtigkeit zu suchen.

Wird nämlich eine etwas wenig feuchte Erde, welche dem Ansehen nach ganz trocken zu seyn scheint, lagenweise fest gestossen, so wird die Oberfläche der Erdlage endlich feucht. Das an den Erdtheilen anhaftende Wasser mußte weichen, und konnte sich nur auf die Oberfläche begeben.

Man ist jedoch schwerlich im Stande, die Erde so lange künstlich zu comprimiren, bis sie alle Feuchtigkeit fahren läßt, dieß bewirkt jedoch die Zeit, indem besonders jene Theile der Anschüttung, welche mit der Futtermauer in Berührung stehen, so wie die zunächst gelegenen ihre Feuchtigkeit an diese abgeben. Der Raum, welchen das Wasser eingenommen hatte, wird mittelst des Druckes der oberen Schichten durch Erdtheile ersetzt, und die Setzung erfolgt.

Wir haben an den aufgedeckten Theilen der alten *Schotten-Bastion* in Wien und an anderen Werken daselbst gesehen, daß die aus reiner Lehmerde hergestellten Erdbögen, über welche die Ueberwölbungen der Strebepfeiler gemauert gewesen waren, sich um $1\frac{1}{2}$ Fuß unter die innere Fläche des Gewölbes, am Schlusse gemessen, gesetzt hatten; die Anschüttung war vollkommen trocken, und hatte dabey eine *Cohaesion*, welche jener der natürlich gewachsenen Erde nicht viel nachgab.

Bey lockeren Anschüttungen werden die Setzungen durch den Druck der oberen Schichten, und zugleich durch den Verlust der Feuchtigkeit bewirkt, sie müssen eben darum auch stärker ausfallen.

6^{tens}. Dammerde mit Wasser gesättiget.

Der 24^{te} und 25^{te} Versuch haben gezeigt:

1^{tens}. Daß staubtrockene Dammerde 23,7 Pfund Wasser in einen Kubik-Fuß aufnehmen könne, ohne als ein flüssiger Körper zu drücken, denn es fiel bey dieser Sättigung von der Anschüttung noch ein Prisma ab.

2^{tent}. Daß, wenn solche Erde nur um wenige Pfunde mehr Wasser in einen Kubik-Fuß aufnehmen muß, sie schon als ein flüssiger Körper von gleichem Gewichte wirke. Von der Anschüttung fällt dann kein Prisma mehr ab; sondern die ganze Masse fließt ab, im strengen Sinne genommen.

3^{tens}. Daß bey der gesättigten und übersättigten Dammerde die *Cohaesion* gänzlich aufgehoben sey, und daß der Druck der bloß gesättigten Erde größer sey als jener, welchen die Rechnung für das Prisma vom größten Drucke finden läßt, wenn man das Gewicht der gesättigten Erde, und die Reibung der trockenen, in Rechnung bringt. Durch die Sättigung der Erde mit Wasser muß daher die Reibung der Erdtheile vermindert werden, was auch der Natur angemessen ist.

Der 43^{te} Versuch hat diesen Umstand bestätigt, denn man fand die Anlage der natürlichen Böschung einer mit Wasser gesättigten Anschüttung, wovon 1 Kubik-Fuß 108 Pfund schwer war, auf die Einheit der Höhe mit 1,456; während die Anlage dieser Böschung bey trockener Erde nur 1,20 war. Ueberdies hat eben dieser Versuch gezeigt, daß mit Wasser gesättigte Dammerde keine *Cohaesion* habe, denn die Anschüttung fiel immer bis an die natürliche Böschung ab.

Zweyte Reihe von Versuchen.

Scharfer reiner Sand.

Bey den Versuchen mit diesem Sande im natürlich feuchten und mit Wasser gesättigten Zustande hatte man die Grundlinie desjenigen Prisma's, welches sich, als das Hinderniß zu weichen began, von der übrigen Anschüttung trennte, gut beobachten können; die Länge dieser Grundlinie wird man mit jener des durch Rechnung zu bestimmenden Prisma's vom größten Drucke übereinstimmend finden.

Die Erhebungen der *Cohaesion* haben das Daseyn derselben in dem natürlich feuchten und mit Wasser gesättigten Zustande dargethan; da aber diese Versuche nur mit einer 3 Fuß hohen, und durch kein Hinderniß gehaltenen, sondern frey aufgeschütteten Erde angestellt worden sind; so können die Resultate derselben nicht dazu dienen, um sie für die Berechnung des Druckes einer 6 Fuß hohen Anschüttung zu benützen, bey welcher die Erdtheile noch durch den Widerstand des Thores gepreßt worden sind.

In den vier Versuchen hingegen, welche man mit sehr trockenen Sand anstellte, konnte zwar die Bruchlinie nicht beobachtet werden, denn der Sand fiel gleich bis auf die steilste Böschung nach, in welcher er sich zu erhalten vermochte; dagegen hat man die *Cohaesion* in dem großen Erdkasten selbst erhoben, und ist daher im Stande, die Momente des beobachteten und des durch Rechnung zu findenden Druckes zu vergleichen.

Die in diesen vier Versuchen gefundenen Resultate waren folgende:

Handwritten calculations on the right margin:

$$\begin{array}{r} 1.0000 \\ 1.456 \\ \hline 8726 \\ 12640 \\ 1456 \\ \hline 10192 \\ 2448 \\ \hline 1456 \\ 9920 \\ 1456 \\ \hline 8736 \\ 11840 \\ 1456 \\ \hline 11648 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1.00 \\ 1.2 \\ \hline 96 \\ 48 \end{array}$$

Nro. des Versuches.	Anlage der natürlichen Böschung auf die Einheit der Höhe.	Anlage der steilsten Böschung auf die Einheit der Höhe.	Gewicht eines Kubik-Fußs Erde.	Erhobene Wirkung auf der Wagschale.	Anmerkung.
			Pfund.	Pfund.	
38 ^{te}	1,313.	0,833.	98,6.	1512.	
39 ^{te}	—	0,683.	98,6.	1462.	
40 ^{te}	—	0,916.	98,6.	1482.	
41 ^{te}	1,341.	0,750.	98,6.	1262.	
	2,654.	3,182.	98,6.	5718.	
Durchschnittszahlen.					
	1,327. x)	0,795.	98,6.	1429.	

Unter diesen vier Versuchen stimmt nur in dem 41^{ten} der berechnete mit dem erhobenen Drucke nahe genug überein, wenn man die *Cohaesion* in Rechnung bringt. Diese konnte auch bey einer so lockeren und beweglichen Erdgattung nicht ganz genau erhoben werden, wie dieß schon aus der Verschiedenheit der gefundenen steilsten Böschungen hervor gehet, welche, da die vier Versuche an ein und demselben Tage, mit dem nämlichen Sande und bey günstiger Witterung unternommen worden sind, unter anderen Umständen hätten gleicher ausfallen müssen.

Berechnet man aber das Moment des Druckes nach der Formel für lockere Erde ohne *Cohaesion*

$$3M = \frac{3}{2} p \cdot \text{Tang.}^2 \frac{1}{2} a \frac{h^3}{3}; \text{ so wird, weil } a = 53^\circ, \\ \frac{1}{2} a = 26\frac{1}{2}^\circ, \text{ daher } \text{Tang.} \frac{1}{2} a = 0,499, \text{ Tang.}^2 \frac{1}{2} a = 0,249, \text{ und } h = 6 \\ \text{ist.} \dots\dots\dots 3M = 2651,4.$$

Die auf der Wagschale erhobene Wirkung war im Durchschnitte = 1429,00 Pfund.

Hiervon abgezogen den Wider-

$$\text{stand an der Rolle } \frac{1429,5 \times 0,5}{0,707 \times 3 \times 2,5} = 134,62 \quad " \frac{1}{2}$$

Verbleibt 1294,38 Pfund.

Und das Moment dieses Widerstandes $M' = 2588,76.$

Der Unterschied beyder Momente $3M - M' = 62,64.$

$\alpha = 53^\circ$
 $\beta = 37^\circ$
 $\cos \beta = 1,327$
 $\sin \beta = 0,707$
 $\tan \beta = 0,7535$
 $\frac{1}{2} \alpha = 26\frac{1}{2}^\circ$
 $\tan \frac{1}{2} \alpha = 0,499$
 $\tan^2 \frac{1}{2} \alpha = 0,249$
 $h = 6$
 $3M = 2651,4$
 $1429,5 \times 0,5 = 714,75$
 $714,75 \div (0,707 \times 3 \times 2,5) = 134,62$
 $2651,4 - 134,62 = 2516,78$

Dieses Resultat zeigt, daß die *Cohaesion* im Durchschnitte nur sehr klein gewesen sey, und daß in dem 38^{ten}, 39^{ten} und 40^{ten} Versuche der sehr trockene Sand fast ohne *Cohaesion* gewirkt habe.

Die Versuche mit dem Sande überhaupt haben übrigens gelehret; daß 1^{ten}. das Gewicht des mit Wasser gesättigten, aber nicht übersättigten Sandes das größte sey, nämlich: 110,15 Pfund.

2^{ten}. Das Gewicht des frisch gegrabenen Sandes das kleinste sey, man findet es 92,8 Pfund.

3^{ten}. Daß das Gewicht wieder zunimmt, wenn der Sand trockener wird, man fand nämlich das Gewicht eines etwas trockeneren Sandes schon mit 94,1 Pfund, und das Gewicht des sehr trockenen Sandes mit 98,6 Pfund.

4^{ten}. Daß die *Cohaesion* des sehr trockenen Sandes fast Null sey, daß aber dieselbe mit der Feuchtigkeit des Sandes zunehme, und am größten werde, wenn derselbe mit Wasser gesättigt ist.

5^{ten}. Daß eben darum der sehr trockene Sand den stärksten, der mit Wasser gesättigte aber den kleinsten Druck ausübe.

Dritte Reihe von Versuchen.

Gelbe Lehmerde.

Der Zweck dieser Versuche war kein anderer, als zu erfahren, ob diese Erdgattung keine auffallenden Abweichungen von den Voraussetzungen der Theorie zeige; ferner, wie das Gewicht, die Reibung und *Cohaesion* sich mit dem verschiedenen Zustande von Feuchtigkeit ändere, in welchen sich die Erde befinden kann. Da es daher keinesweges die Absicht seyn konnte, die vollkommene Uebereinstimmung der erhobenen mit der berechneten Wirkung bey allen einzelnen Versuchen nachzuweisen, welche sich schon in den Versuchen mit Dammerde und Sand, besonders aber durch die, bloß in dieser Absicht nachträglich vorgenommenen Versuche mit überhörender Anschüttung bestätigt gefunden hat; so wurde die *Cohaesion* der lockeren Erde nur darum erhoben, um sich von dem Daseyn derselben die Ueberzeugung zu verschaffen, und zugleich die Veränderungen derselben bey dem verschiedenen Zustande von Feuchtigkeit zu beobachten.

Diese Versuche zeigen, daß der vollkommen trockene und natürlich feuchte Lehm in einigen Stücken sich eben so verhalte, wie die Dammerde. Das Gewicht des trockenen Lehms nimmt nämlich ab, wenn die Feuchtigkeit bis auf einen gewissen Grad zunimmt, bey noch weiter zunehmender Feuchtigkeit nimmt aber das Gewicht wieder zu, und erreicht das Maximum, wenn die Sättigung eintritt, wo er dann schwerer wird, als er im trockenen Zustande war.

Die Reibung des trockenen und natürlich feuchten Lehms ist dieselbe, der mit Wasser gesättigte hat aber weniger Reibung als die ersteren.

Die *Cohaesion* des lockeren natürlich feuchten Lehms ist kleiner als die des trockenen, und hierin weicht der Lehm von der Dammerde ab, bey welcher die *Cohaesion* der natürlich feuchten Erde fast dieselbe war wenn die Anschüttungen niedrig waren, bey höheren Anschüttungen aber war sie bedeutend grösser als jene der trockenen Erde. Die Ursache dieser Erscheinung scheint in dem Umstande zu liegen, daß der etwas feuchte Lehm kleine ziemlich harte Kügelchen bildet, die nur erst dann fest cohaeriren, wenn sie aneinander gedrückt werden. Bey hohen Anschüttungen würde daher auch der feuchte Lehm wahrscheinlich eine grössere *Cohaesion* zu erhalten fähig seyn, als der trockene.

Die *Cohaesion* des fest gestossenen trockenen Lehms kommt mit jener der trockenen Dammerde überein, ist aber bedeutend kleiner als die *Cohaesion* des fest gestossenen natürlich feuchten Lehms, was die obige Vermuthung bestärken dürfte.

Der Druck, welcher bey den trockenen und feuchten Anschüttungen von Lehm erhoben wurde, kommt mit jenen bey gleichen Anschüttungen von Dammerde fast überein, was, da auch die Daten fast die nämlichen sind, zu dem Schlusse berechtigt; daß alle Voraussetzungen der Theorie auch bey dieser Erde richtig seyn müssen. Uebrigens haben die Erhebungen des Druckes das auffallende Resultat geliefert; daß der Druck, welchen die Lehmerde ausübt, in allen Zuständen von Feuchtigkeit derselbe bleibe. Denn die feuchte Lehmerde hat zwar weniger Gewicht, dagegen bey gleicher Reibung weniger *Cohaesion* als die trockene, wodurch die Wirkungen sich ausgleichen.

Die mit Wasser gesättigte Lehmerde hingegen ist schwerer als die beyden vorigen, und hat weniger Reibung, nimmt aber dafür ein auffallend

starke *Cohaesion* an, wodurch die Wirkung wieder auf jene des trockenen Lehms zurück geführt wird. Indessen können diese Umstände nur bey niederen Anschüttungen sich so gestalten, denn bey Anschüttungen von bedeutender Höhe nimmt der Einfluß der *Cohaesion* auf den Druck ab, und die entscheidenden Factoren sind dann; die Reibung und das Gewicht.

Bey Anschüttungen von einer Höhe über 10 Fuß wird daher natürlich feuchte Lehmerde den geringsten, und die mit Wasser gesättigte den stärksten Druck ausüben.

Man ist allgemein der Meinung, daß nasse Lehmerde sich ausdehne, und dadurch einen außerordentlichen Druck hervor zu bringen fähig sey.

Der 34^{te} Versuch, welcher mit einer mit Wasser gesättigten Anschüttung von Lehmerde, wovon 1 Kubik-Fuß 112 Pfund gewogen hatte, vorgenommen wurde, bestätigt diese Meinung nicht; denn die Wirkung dieser Anschüttung entspricht ganz den erhobenen Größen für das Gewicht, die Reibung und *Cohaesion*. In diesem Versuche blieb die Erde am Fusse der Anschüttung 2',37 hoch vertical stehen, h' wäre daher 2',37; um sich hiervon noch ferner zu überzeugen, wurde die Erde von oben herab abgestochen, und sie erhielt sich auf 3' vertical, weil sie nur einen kleineren Druck zu halten hatte. Weil aber durch das Abfallen der oberen Erdmasse ein Theil der vertical stehen gebliebenen Erde abgerissen werden konnte, so wollen wir $h' = 2',5$ setzen.

Die Anlage der natürlichen Böschung läßt $a = 51\frac{1}{2}^\circ$ finden; daher ist $\text{Tang. } \frac{1}{2} a = 0,4825$, und $\text{Tang.}^2 \frac{1}{2} a = 0,2328$, $h = 6$; nach obiger Annahme $h' = 2,5$ und $p = 112$ Pfund.

Hiernach findet man 3 $M = 1157,706$.

Die auf der Wagschale erhobene

Wirkung war 631,13 Pfund.

Der Widerstand an der Rolle . . . 59,53 "

Verbleibt 571,60 Pfund.

Das Moment des Widerstandes $M' = 1143,20$.

Wir sehen also, daß, obwohl h' größer angenommen wurde, als es sich am Fusse der Anschüttung gezeigt hatte, das Moment des erhobenen Widerstandes doch noch kleiner ausfällt, als das des nach dieser Annahme berechneten Druckes der Erde; und daß daher h' zwischen 2',5 und 3'

$$\begin{array}{r} 90 \\ - 51\frac{1}{2} \\ \hline 38\frac{1}{2} = f \end{array}$$

liegen müsse, auf keinen Fall aber eine fremde Kraft den Druck modificirt haben könne.

Wahrscheinlich sind die beobachteten überraschenden Wirkungen des nassen Lehms Folgen einer schnell Statt gefundenen Uebersättigung der ganzen Erdmasse mit Wasser; denn da in einem solchen Falle die ganze Anschüttung wie ein flüssiger Körper wirkt, dessen Gewicht bedeutend ist, so können schon dadurch manche Erscheinungen dieser Art erklärt werden.

Vierte Reihe von Versuchen.

Kleinkörniger Schotter.

Bey dieser Erdgattung bestätigte sich, wie bey den früher untersuchten, die Richtigkeit der theoretischen Voraussetzungen; dieß beweisen die in dem 45^{ten}, 46^{ten}, 47^{ten}, 48^{ten} Versuche gemachten Erhebungen.

Im Durchschnitte fand man $p = 95,15$ Pfund.

Die Anlage der natürlichen Böschung auf die Einheit der Höhe = 1,160. Daher $a = 49\frac{1}{4}^\circ$.

$$\text{Tang. } \frac{a}{2} = 0,458.$$

$$\text{Tang.}^2 \frac{a}{2} = 0,2097.$$

Berechnet man hiernach den Druck einer 6 Fuß hohen Anschüttung auf das Thor des Kastens, welches 3 Fuß breit ist, indem man die *Cohesion* gleich Null setzt;

so findet man $3 M = 2154,8$.

Auf der Wagschale wurde gefunden im Durchschnitte 1088,15 Pfund.

Hiervon der Widerstand an der Rolle abgezogen mit 102,65 „

Verbleiben 985,50 Pfund.

Das Moment des Widerstandes $M' = 1971,00$.

Der Vergleich zwischen beyden Momenten zeigt, daß selbst diese Erdgattung *Cohesion* haben müsse, denn das berechnete Moment einer An-

schüttung ohne *Cohaesion* fällt gröfser aus, als das Moment der erhobenen Wirkung.

Diese *Cohaesion* hat man auch durch die steilste Böschung aufgefunden, welche im Durchschnitte auf die Einheit der Höhe mit 0,933 erhoben worden ist; obwohl diese Böschung die *Cohaesion* zu klein angibt.

In dem 47^{ten} Versuche war die steilste Böschung, in welcher sich der Schotter erhielt, auf die Einheit der Höhe 0,896, aber selbst nach dieser Böschung die *Cohaesion* berechnet, gibt ein Moment, welches gröfser ist, als das Moment des erhobenen Widerstandes; man mufs es der Eigenschaft dieser Erdgattung zuschreiben, dafs man in diesen Versuchen die wahre steilste Böschung durchaus nicht zu erheben vermochte. Wir haben es übrigens schon erwähnt, dafs nach unserer Ansicht die (wir können es versichern) sehr mühsame Ausführung solcher Versuche, welche zum Zweck haben, die Uebereinstimmung der Momente bis auf Kleinigkeiten nachzuweisen, bey den bereits vorliegenden Erhebungen eine überflüssige und unfruchtbare Arbeit gewesen seyn würde.

Vierter Abschnitt.

Anwendung.

Herr *Français* handelt in dem §. 2 seines Aufsatzes einen Gegenstand ab, dessen auf Erfahrung begründete Ausarbeitung von alten Praktikern längst gewünscht worden ist. Die Rechnung gibt nämlich die Ausmaassen der Mauer nur für den Stand des bestehenden Gleichgewichtes an, und wie der Verfasser ganz richtig bemerkt, würde, wissenschaftlich genommen, jeder auch noch so geringfügige Umstand hinreichen, diesen Zustand aufzuheben; eine Verstärkung ist daher nothwendig, um der Mauer eine vollkommene Stabilität zu verschaffen.

Belidor und mehrere nach ihm nehmen an, daß man die durch Rechnung gefundene Mauerstärke um $\frac{1}{4}$ vermehren solle, ohne jedoch diese Annahme mit Gründen zu belegen. Gegen die Art und Weise, wie Herr *Français* die Vermehrung des Widerstand-Momentes bestimmt, glaube ich folgende Bemerkungen machen zu müssen.

Anmerkung 1.

^{1^{te}}. Behauptet Herr *Français*, daß es nicht hinreichend sey, wenn man in der Ausführung die *Cohaesion* gleich Null setzt; weil hinter die Futtermauer nicht natürlich feste Erde, sondern eine aufgelockerte Erde zu liegen kommt; die *Cohaesion* aber, welche die Erde durch das Feststoßen erhalten kann, betrachtet er als viel zu zufällig, und legte ihr einen zu geringen Werth bey, als daß in der Ausführung auf dieselbe Rücksicht genommen werden könnte. Die im Jahre 1827 zu Wien angestellten Versuche haben dargethan, daß alle Erdgattungen, und selbst der Sand, im lockersten und trockensten Zustande *Cohaesion* haben, durch welche der Druck sehr merklich vermindert wird, weitere Versuche über die *Coha-*

sion, welche mit reiner Dammerde, und mit einer Erde, welche aus einer Mischung von Lehm und Schotter bestand, vorgenommen wurden, haben gezeigt: daß die durch Anstoßen künstlich erzeugte *Cohaesion* bedeutender sey, als der Herr Verfasser glaubt. Man fand nämlich die *Cohaesion* der im trockenen Zustande fest gestossenen Dammerde mit 96,8 Pfund, und 106 Pfund auf jeden Quadrat-Fuß, und jene der mit Schotter gemischten natürlich feuchten Thonerde mit 153 Pfund auf jeden Quadrat-Fuß; diese letztere in 1' hohen Lagen aufgeschüttet und mit Schubkarren überfahren (also eine nur sehr schlechte Anschüttung), wurde auf eine Höhe von 12 Fuß so lange nach einer schiefen Ebene, welche man immer steiler machte, abgestochen, bis sie endlich bey einer einstürzte; diess geschah auf 12 Fuß Höhe bey einer Böschung, welche $\frac{1}{4}$ der Höhe zur Anlage hatte, aber erst, nachdem diese Böschung vollkommen gestaltet war, und eine Weile sich standhaft erhalten hatte. Die *Cohaesion* dieser schlecht angestossenen Erdgattung betrug daher nach der Formel (11) 76 Pfund auf einen Quadrat-Fuß.

Da es sonach durch Versuche erwiesen ist, daß die künstlich erzeugte *Cohaesion* einiger Erdgattungen keine unbedeutende GröÙe sey; so würde es in ökonomischer Beziehung ein Fehler seyn, diese allgemein nicht nur gleich Null zu setzen, sondern noch überdiß das Moment des Druckes lockerer Erde mit einem bestimmten *Coeficienten* zu multipliciren, und das Moment des Widerstandes der Mauer mit diesem so vermehrten Druck in das Gleichgewicht zu setzen. Um diß näher zu beleuchten, nehmen wir die allgemeine Formel für den Erddruck (13), welche uns dazu dienen wird, bey Erdgattungen, welche überhaupt zu *cohaeriren* fähig sind, die Fälle zu bezeichnen, in welchen die *Cohaesion* entweder Berücksichtigung verdient, oder vernachlässiget werden mußte.

Diese Formel gibt den Erddruck

$$P = \frac{1}{2} p t^2 h (h - h'') \cos. \varepsilon.$$

Setzen wir nun, da h'' die Höhe bedeutet, bis zu welcher sich die fest gestossene Erde unter einem Winkel $\frac{1}{2} \pi + \varepsilon$ standhaft zu erhalten vermag, daß $h = h''$ sey; das heißt: daß die Anschüttung nicht höher sey, als die Höhe, bis zu welcher die Erde unter der Neigung, welche man der

Handwritten notes:
 $P = 0$ für
 $h = h''$
 in. Ringel. 1841

inneren Seite der Mauer geben will, sich standhaft erhält; so wird $P = 0$; und es ist daher keine Futtermauer nöthig.

Nun will aber Herr *Français* die *Cohaesion* fest gestossener Erde in der Ausführung nicht nur ganz vernachlässigen, sondern das Moment des Druckes lockerer Erde noch mit einem beständigen *Coeficienten* k multipliciren; der Druck wäre demnach $P = k (\frac{1}{2} p t^2 h^2) \cos. \varepsilon$, anstatt daß derselbe unter der obigen Voraussetzung, daß $h = h''$ sey, gleich Null seyn würde.

Wir sehen ferner, daß, wenn h'' beständig bleibt, h aber wächst, auch der Werth von P wachse, und daß es daher für jedes h'' ein h geben müsse, bey welchem der Werth des Druckes *cohaerirender* Erde, von jenem der lockeren, nur wenig abweicht, welcher Fall besonders bey großen Höhen eintreten wird.

Einige Beyspiele werden es anschaulicher machen, wie sehr die Wirthschaft durch eine scheinbar auf Erfahrung begründete Anwendung der einzig richtigen Theorie beeinträchtigt werden kann.

Wir wollen annehmen, die Anschüttung sey von der zweyten oben benannten Erdgattung herzustellen, und mit der Mauer gleich hoch, also $h = H$; die Futtermauer sey auf beyden Seiten *vertical*, daher $\varepsilon = 0$. $\cos. \varepsilon = 1$. $t^2 = \text{Tang.}^2 \frac{1}{2} a$. Ferner sey $p = 94$ Pfund, die Mauer aus $\frac{2}{3}$ Ziegel und $\frac{1}{3}$ Stein bestehend, wird

$$p' = 94 \text{ Pfund, also } \frac{p}{p'} = 1.$$

$$\text{Tang. } \frac{1}{2} a = 0,477.$$

Wir werden nun h nach und nach $= 10'$, $30'$, $60'$ annehmen, und jedesmahl die Mauerdicke x für die *cohaerirende*, für die lockere und für die von Herrn *Français* angegebene Verstärkung, nach welcher $k = 1,8$ ist, bestimmen, und zur Unterscheidung die nach der ersten Voraussetzung gefundene Mauerstärke: x , nach der zweyten: x' , und nach der dritten: x'' benennen.

Die allgemeine Gleichung für die Mauerdicke (21) verwandelt sich in dem angenommenen Falle in folgende:

$$x = \text{Tang.} \frac{1}{a} \sqrt{\frac{\frac{1}{3} \cdot (h - h')^2 (h + \frac{1}{2} h')}{h}}.$$

Die *Cohaesion* einer schlecht gestossenen Anschüttung von dieser Erdgattung wurde zu 76 Pfund auf den Quadrat-Fuß erhoben, daher wird $h' = 6',8$ (nahe), und für den Fall, wenn $h = 10'$ ist,

$$x = 0,477 \sqrt{\frac{0,333 (3,2)^2 (13,4)}{10}} = 1',0197.$$

Wenn die Anschüttung aus lockerer Erde bestehet

$$(24). \dots \text{ist } x' = h \cdot \text{Tang. } \frac{1}{2} a \sqrt{0,333}.$$

$$x' = 4,77 \sqrt{0,333} = 2',7523.$$

Und mit Herrn *Français* Verstärkung

$$x'' = h \cdot \text{Tang. } \frac{1}{2} a \sqrt{0,6} = 3',6919.$$

Führt man die Rechnung für $h = 30'$ und $h = 60'$ gleichfalls aus, so erhält man folgende Zusammenstellung der Werthe für x , x' und x'' :

$$h = 10'. \quad x = 1',0197. \quad x' = 2',7523. \quad x'' = 3',6919.$$

$$h = 30'. \quad x = 6',7352. \quad x' = 8',2569. \quad x'' = 11',0759.$$

$$h = 60'. \quad x = 15',0526. \quad x' = 16',5138. \quad x'' = 22',1518.$$

$\frac{p}{p'} = 1$ an bei $\frac{1}{2}$

Man sieht, wie bey zunehmender Höhe der Einfluß der *Cohaesion* abnimmt, und daß man bey bedeutenden Höhen vielleicht gezwungen seyn wird, nicht nur diese zu vernachlässigen, sondern auch den Druck der lockeren Erde größer anzunehmen, als er ist, um der Mauer eine vollkommene Stabilität zu verschaffen.

Bevor jedoch dieser Gegenstand erörtert wird, muß noch bemerkt werden, daß Herr *Français* bey der Bestimmung des *Coeficienten* k , so wie bey allen seinen Berechnungen, nach der allgemein angenommenen Regel $\frac{p}{p'} = \frac{2}{3}$ annimmt.

Es ist schwer zu begreifen, wie man so lange dabey stehen bleiben konnte, den einzelnen selten vorkommenden Fall, wo $\frac{p}{p'} = \frac{2}{3}$ ist, zum Nachtheil der Stabilität in einen allgemeinen zu verwandeln, und zwar wie

es scheint, nur darum, weil *Vauban* und *Belidor* diese an sich unrichtige Annahme gemacht hatten *).

Dieser Irrthum wäre doch so leicht zu berichtigen gewesen, und wird sogleich gehoben, wenn man, wie es seyn muß, zur Regel macht: *die Gewichte so zu nehmen, wie sie sind*, und nicht wie eine falsche Voraussetzung sie angibt.

Wir haben auf diesem Wege gefunden, daß nur feuchte Dammerde und Ziegelmauerwerk sich dem Gewichte nach wie 2:3 verhalten, Sand, Lehm, Schotter und gemischte Erden sind im trockenen Zustande schwerer als Ziegelmauerwerk, und verhalten sich zu dem mit Bruchsteinen gemischten Mauerwerke in den meisten Fällen wie 1:1 dem Gewichte nach.

Weil aber Herr *Français* die Voraussetzung, daß $\frac{p}{p'} = \frac{2}{3}$ sey, angenommen hat, so wollen wir mit Beybehaltung unserer übrigen Annahmen die hiernach entfallenden Werthe für x'' hersetzen, um sie mit den obigen vergleichen zu können, welche nach dem wirklichen Gewichtsverhältnisse gefunden worden sind. Es wird aber dann:

$$\text{für } h = 10'. \quad x'' = 3',0146.$$

$$h = 30'. \quad x'' = 9',0439.$$

$$h = 60'. \quad x'' = 18',0878.$$

Eine zweyte Verminderung der vom Herrn *Français* ausgemittelten Verstärkung ergibt sich durch die Annahme, daß $a = 45^\circ$ allgemein sey, eine Voraussetzung, die allgemein eben so unrichtig ist als die erstere.

Berechnen wir x'' noch einmahl, indem wir auch diese letztere Annahme berücksichtigen; so wird für

$$h = 10'. \quad x'' = 2',6164.$$

$$h = 30'. \quad x'' = 7',8392.$$

$$h = 60'. \quad x'' = 15',6784.$$

Alle diese Werthe sind kleiner als jene, welche für lockere Erde, und zwar nach den aus der Natur entnommenen Bestimmungen für a und $\frac{p}{p'}$

*) *Querlonde* in seinem *Manuscripte* nimmt dieß ebenfalls und mit solcher Bestimmtheit an, als ob es nicht anders seyn könnte; er war übrigens der Erste, der es wagte, für den Winkel a drey verschiedene Größen statt 45° anzunehmen. *Mayniel* ist von diesen Fehlern wenigstens frey.

ausfallen; es zeigt sich daher, wie gefährlich es für die Stabilität wäre, wenn man bey diesen beyden Gröſſen, deren wahre Werthe für jeden vorkommenden Fall so leicht zu finden sind, allgemein solche setzen wollte, welche nur für einzelne Fälle gelten können; denn selbst Herrn *François Coefficient* $k = 1,8$ würde, wie hervor geht, keine Verstärkung des Widerstands-Momentes bewirken, und die hiernach aufgeführte Mauer keinesweges die Stabilität der Mauern *Vaubans* erhalten.

Es muß daher festgesetzt werden, daß bey der Berechnung der Futtermauern der Winkel a , welchen die schiefe Ebene der natürlichen Böschung mit der Verticalen bildet, so wie p das Gewicht der Erde, und p' das Gewicht des Mauerwerkes nach den Umständen, welche jeder vorkommende Fall darbiethet, gesucht werden, und daß nur die so gefundenen Werthe in Rechnung zu bringen seyen.

2^{tes}. *Vaubans* Mauern sind nach Grundsätzen bestimmt, welche den Druck der Erde viel zu groß voraus setzen, und hierdurch erhält die Widerstandsfähigkeit der Mauer eine sehr große Ueberwucht. So wie Herr *François* den *Coefficienten* k entwickelt, gibt dieser nur eine solche Vermehrung des wirklichen Erddruckes, welche mit der Ueberwucht der *Vaubanischen* Mauern im Verhältnisse stehet, und es bleibt daher noch immer zweifelhaft, ob diese Vermehrung auch vollkommene Sicherheit gewähre.

Denn wenn Mauern, welche um Vieles stärker sind, als der Druck der Erde es unmittelbar gefordert haben würde, durch ein volles Jahrhundert allen Elementar-Einwirkungen Trotz gebothen haben; so folgt hieraus nicht nothwendig, daß schwächere Mauern durch ein arithmetisch ausgefundenes Verhältniß allein gegen diese Einwirkungen eben so gut geschützt seyn werden.

Der einzig wahre Weg, um diesen wichtigen Gegenstand auf eine für die Ausführung verlässige Weise fest zu stellen, scheint zu seyn, die Natur und ihre Wirkungen näher zu betrachten.

Um zu erfahren, um wie viel der Druck der Erde größer anzunehmen sey, damit die Mauer eine vollkommene Stabilität erhalte, muß untersucht werden, welche natürliche Ursachen diesen Druck vermehren können, und welches ihre mögliche Wirkung im *Maximum* sey.

Offenbar können aber nur Nässe und Frost als natürliche, den Druck der Erde vermehrende Ursachen angenommen werden, und weil bey einer

fehlerfreyen Ausführung alle vorfindigen Quellen und sonstige Wasserzuflüsse im Inneren der Anschüttung sorgfältig abgeleitet werden müssen, auch an der Oberfläche für Wasserabzüge gesorgt werden muß; so wäre daher nur der Niederschlag aus der Atmosphäre in Betrachtung zu ziehen.

Wir wissen aber, daß dieser Niederschlag in einem Jahre die Oberfläche mit einem Wasserkörper von 2,5 Fuß Höhe überziehen würde, wenn derselbe unausgesetzt erfolgen sollte, und das niedergeschlagene Wasser nicht verdünsten könnte. Der Niederschlag erfolgt jedoch in verschiedenen Gestalten nur periodisch, und der geringste Theil desselben wird von der Erde eingesogen. Demungeachtet wollen wir, um das Größte zu nehmen, folgende Voraussetzungen machen:

Es sey eine Anschüttung aus lockerer Dammerde, wovon 1 Kubik-Fuß 83 Pfund schwer ist, auf die Höhe $= h$ und Länge $= h$, die Breite $= 1$ hergestellt; auf diese Anschüttung falle der ganze Niederschlag aus der Atmosphäre in Wasserform, jedoch so, daß das Wasser weder ablaufen noch verdünsten könne, sondern von der Anschüttung ganz verschluckt werden müsse. Es fragt sich nun, um was der Druck der Anschüttung vermehrt werde.

Unsere Versuche haben gezeigt, daß, wenn man vollkommen trockene Dammerde, wovon 1 Kubik-Fuß 80,5 Pfund wiegt, so lange mit Wasser sättiget, bis 1 Kubik-Fuß 105,25 Pfund schwer wird, die Erde in flüssigen Zustand überzugehen anfangt, und so drücke wie ein gleich schwerer flüssiger Körper. In diesen Zustand der Flüssigkeit kann die Erde erst dann übergehen, wenn die ganze Masse der Anschüttung mit der hierzu nöthigen Wassermenge gesättiget worden ist; denn so lange noch weniger benetzte Erdtheile vorhanden sind, werden diese den mehr gesättigten ihren Ueberfluß entziehen, und sich auf einen gleichen Grad der Sättigung zu stellen trachten.

Ist die Sättigung der ganzen Masse einer Anschüttung so weit erfolgt, daß jeder Kubik-Fuß Erde von seinem ursprünglichen Gewichte von 80,5 Pfund auf 104 Pfund gebracht ist, dann wirkt der Druck noch ganz so wie bey der trockenen Erde, das heißt: das Prisma vom größten Drucke bildet sich vollkommen so, wie bey jener; dieser Grad von Sättigung kann als die äußerste Gränze angesehen werden, denn wir werden später finden,

dafs unter der gemachten Voraussetzung die ganze Masse einer Anschüttung nur bey jenen, welche niedriger als 10' sind, in flüssigen Zustand gebracht werden könnte.

Dies voraus geschickt, kann man das Maximum der Vermehrung des Erddruckes als eine Folge des atmosphärischen Niederschlages auf folgende Art für jede Höhe der Anschüttung finden.

Auf die Oberfläche der Anschüttung fällt nach unserer Voraussetzung die Wassermenge $(2',5) h$, das Gewicht derselben beträgt $(2,5 \times 56,5) h$; und weil jeder Kubik-Fufs Erde bis zum *Maximum* gesättiget werden soll, so nimmt jeder Kubik-Fufs Erde 23,5 Pfund Wasser auf.

Die Anzahl der Kubik-Fufs Erde, welche durch die obige Wassermenge auf diese Art gesättiget werden, wird daher seyn

$$\left(\frac{2,5 \times 56,5}{23,5} \right) h,$$

und die Tiefe, bis auf welche diese Sättigung in die Anschüttung von oben herab sich erstrecken kann, ist:

$$\left(\frac{2,5 \times 56,5}{23,5 \cdot h} \right) h = 6',01.$$

Wir sehen daher, dafs, die Höhe der Anschüttung sey welche sie wolle, die Sättigung nur höchstens auf 6,01 Fufs von oben herab in dem angenommenen Grade erfolgen könne, wir werden aber dennoch, um das Gröfste zu rechnen, die Tiefe, bis auf welche die Erde mit Wasser gesättiget werden kann, mit 7 Fufs annehmen. Weil aber diese Tiefe für jede Höhe der Anschüttung dieselbe ist; so folgt, dafs die Vermehrung des Druckes bey niedrigen Anschüttungen empfindlicher seyn müsse, als bey höheren, und dafs daher für die Vermehrung des Widerstand-Momentes kein beständiger *Coeficient* angenommen werden könne. Wir werden diese Vermehrung für verschiedene Höhen zu bestimmen trachten.

Nach den Versuchen ist der Druck der ursprünglich 80,5 Pfund schweren und bis auf 104 Pfund geschwängerten Erde $\frac{1}{3}$ von dem Drucke eines gleich schweren Flüssigen.

Nennet man daher allgemein π das Gewicht eines Kubik-Fuß so geschwängerten Erde, h' die Höhe der geschwängerten Anschüttung und P' den Druck, so ist

$$P' = \frac{1}{6} \pi h'^2.$$

Nun ist aber in dem angenommenen Falle das Gewicht der trockenen Erde = 83 Pfund; daher $\pi = 83 \text{ Pfund} + 23,5 \text{ Pfund} = (1,283) p$; folglich

$$P' = (0,2138) p h'^2.$$

Der Druck P lockerer und trockener Erde auf der gleichen Höhe h' ist:

$$P = \frac{1}{2} p h'^2 \text{ Tang.}^2 \frac{1}{2} a = (0,5 \times 0,2275) p h'^2 = (0,1137) p h'^2;$$

daher $P' - P = (0,1001) p h'^2$, wofür man $\frac{1}{10} p h'^2$ setzen kann.

Dieser Ausdruck gibt allgemein die Vermehrung des Erddruckes im *Maximum* an, welcher durch den atmosphärischen Niederschlag in der obersten 7' hohen Schichte der Anschüttung entstehen kann.

Diese Vermehrung der drückenden Kraft wirkt aber an dem Hebelsarme $= (h - \frac{2}{3} h')$; daher ist allgemein das Moment derselben $M' = \frac{1}{10} p h'^2 (h - \frac{2}{3} h')$; wo h' für alle Fälle = 7' ist.

Berechnet man hiernach M' für die Höhe 10, 20, 30, 40, 50, 60'; und das Moment des Druckes lockerer Erde = M für eben diese Höhen; so erhält man folgende Werthe:

	$M.$	M'	$\frac{M'}{M}$
$h = 10'$	3146,996	2169,337	0,689. = 0,700.
$h = 20'$	25175,993	6236,337	0,248. = 0,250.
$h = 30'$	84969,000	10303,337	0,121. = 0,121.
$h = 40'$	201407,996	14370,337	0,071. = 0,071.
$h = 50'$	393374,993	18437,337	0,0468. = 0,050.
$h = 60'$	679752,000	21504,337	0,0316. = 0,032.

Um der Mauer eine vollkommene Stabilität zu verschaffen, müssen die Momente des Widerstandes derselben den um M' vermehrten Momente des Druckes einer lockeren Anschüttung gleich gesetzt werden. Nennet man das Moment des größten Druckes M'' ; so wird

$$M'' = M + M', \text{ oder: } M'' = \left(1 + \frac{M'}{M}\right) M.$$

Hiernach wäre das Moment des größten Erddruckes für

$$h = 10' \dots \dots \dots = (1,7) \quad M.$$

$$h = 20' \dots \dots \dots = (1,250) \quad M.$$

$$h = 30' \dots \dots \dots = (1,121) \quad M.$$

$$h = 40' \dots \dots \dots = (1,071) \quad M.$$

$$h = 50' \dots \dots \dots = (1,050) \quad M.$$

$$h = 60' \dots \dots \dots = (1,032) \quad M.$$

Zur vollkommenen Beruhigung glauben wir noch beyfügen zu müssen, daß die so eben entwickelten *Coeficienten* wirklich die größtmögliche Vermehrung des Erddruckes bestimmen, welche Fehler der Ausführung abgerechnet, durch natürliche Ursachen bewirkt werden könnte; denn wir haben:

1^{tens}. Die Tiefe, bis auf welche die Erde im lockeren Zustande mit Wasser gesättiget werden kann, zu 7 Fuß angenommen, obwohl wir selbe nur mit 6 Fuß gefunden haben.

2^{tens}. Haben wir den Druck einer mit Wasser gesättigten Anschüttung dem dritten Theile einer gleich schweren flüssigen Masse gleichgesetzt, obwohl der Versuch (24) gezeigt hat, daß dieser Druck bedeutend kleiner sey.

3^{tens}. Haben wir die *Cohaesion* der lockeren Erde gleich Null gesetzt, welche aber bey den Ausführungen im Großen noch bedeutender seyn muß, als wir sie in unseren Versuchen gefunden haben, weil solche Anschüttungen nach und nach hergestellt werden, so wie die Arbeit an der Mauer fortschreitet, und die Erde somit Zeit hat, sich zu setzen.

Der größte Druck ist hier zwar nur für Dammerde ausgemittelt worden, die daraus abgeleiteten *Coeficienten* können jedoch auch für die übrigen Erdgattungen gelten. Denn bey dem Lehm haben wir gefunden, daß die Sättigung dieser Erde mit Wasser den Druck einer 6 Fuß hohen Anschüttung nicht vermehre, derselbe vielmehr jenen einer vollkommen trockenen Anschüttung gleich komme; sollen aber Anschüttungen von Sand oder Schotter hergestellt werden, so sind an der Mauer Oeffnungen zum Ablauf des Wassers nöthig, welche einer Uebersättigung vorbeugen.

Jetzt, nachdem man weiß, um wie viel das Moment der wirkenden Kraft zu vermehren ist, um der Mauer eine vollkommene Stabilität zu ver-

K. 203
 sichern, werden wir auch die *Cohaesion* mit Sicherheit in Rechnung bringen können, und dadurch eine der Natur angemessene Ersparung machen. Denn wir haben oben gesehen, daß der Einfluß der *Cohaesion* auf die Verminderung des Erddruckes bey geringen Höhen bedeutender ist als bey den grösseren, daß aber im Gegentheile die natürlichen Ursachen, welche den Erddruck vermehren können, bey geringeren Höhen eine grössere Vermehrung veranlassen, als bey den grösseren; beyde Einflüsse werden sich daher gegenseitig zum Theil aufheben, und gestatten den Mauern, welche weniger hohe Anschüttungen zu halten haben, mit Sicherheit eine geringere Dicke zu geben, als nach den für lockere Erde bestimmten *Coeficienten* dafür ausfiele.

Dieser für die lockere Erde gefundene Vermehrungs-*Coeficient* kann aber für die fest gestossene Erde gleichfalls angenommen werden, um so mehr, da bey dieser letzteren das Eindringen der Feuchtigkeit weniger möglich ist, und daher bey derselben die Sättigung nie in dem Grade und auf die Tiefe wie bey der lockeren Erde möglich ist.

Um das eben Gesagte durch Beyspiele zu erläutern, nehmen wir die *Cohaesion* einer fest gestossenen trockenen Dammerde mit 94 Pfund auf den Quadrat-Fuß an.

Wir werden jedoch nur die Hälfte dieser *Cohaesion* in Anspruch nehmen, weil wir schon bey der gemischten Erde gefunden haben, daß auf die Hälfte dieser Kraft mit Sicherheit zu rechnen sey. Hiernach wäre die *Cohaesion* auf 1 Quadrat-Fuß = 47 Pfund.

Wir setzen ferner eine an der inneren Seite *verticale* Mauer voraus; dann wird für die *Cohaesion* $h' = 4', 75$.

Der Druck (14) $P = \frac{1}{2} p \cdot \text{Tang.}^2 \frac{1}{2} a \cdot h (h - h')$. Und das Moment des Druckes aus (17) $M''' = \frac{1}{2} p \cdot \text{Tang.}^2 \frac{1}{2} a \left[\frac{1}{3} (h - h')^2 (h + \frac{1}{2} h') \right]$.

Substituirt man in dieser Gleichung die obigen Werthe für die Höhen $h = 10', 20', 30', 40', 50', 60'$, multiplicirt dann das gefundene M''' mit den für die entsprechende Höhe gefundenen Vermehrungs-*Coeficienten* der lockeren Erde, deren Moment man wie oben mit M bezeichnen wird; so zeigen sich folgende Resultate für

$h = 10'$	ist	$M''' = 1073.$	$(1,700)$	$M''' = 1824.$	$M = 3146.$
$h = 20'$	»	$M''' = 16375.$	$(1,250)$	$M''' = 20469.$	$M = 25175.$
$h = 30'$	»	$M''' = 64957.$	$(1,121)$	$M''' = 72817.$	$M = 84969.$
$h = 40'$	»	$M''' = 165700.$	$(1,071)$	$M''' = 177465.$	$M = 201407.$
$h = 50'$	»	$M''' = 337487.$	$(1,050)$	$M''' = 354362.$	$M = 393374.$
$h = 60'$	»	$M''' = 599000.$	$(1,032)$	$M''' = 618168.$	$M = 679752.$
$h = 100'$	»	$M''' = 2919690.$			$M = 3147000.$

Wir haben in dem obigen Beyspiele die *Cohaesion* fest gestossener trockener Dammerde nur zu 94 Pfund auf den Quadrat-Fuß angenommen, obwohl wir durch Versuche diese *Cohaesion* einmahl zu 96,8 Pfund, und das anderemahl bey grösserer Verdichtung zu 106,1 Pfund auf den Quadrat-Fuß erhoben haben; und da wir zugleich nur die Hälfte der so verminder-ten Kraft in Rechnung gebracht haben; so kann man die in Anspruch ge-nommene *Cohaesion* als eine solche betrachten, welche einer mit sehr wenig Sorgfalt hergestellten Anschüttung zukommt.

Man sieht demungeachtet, daß, wenn man es mit *cohaerirender* Erde zu thun hat, man, um bey gewöhnlichen Höhen die vollkommenste Stabi-lität zu versichern, nie das einfache Moment des Druckes lockerer Erde ohne *Cohaesion* erreiche, und daß es daher der Wirthschaft entgegen seyn würde, wenn man dieses letztere Moment noch vermehren wollte.

Bey Mauern, welche an der inneren Seite gegen die Anschüttung geneigt sind, wird der Druck durch die erwähnten natürlichen Ursachen noch weniger vermehrt als bey den verticalen, demungeachtet kann man auch für solche Mauern den gefundenen *Coeficienten* gelten lassen.

Dadurch, daß wir physische Unmöglichkeiten und einen Fehler der *Construction* in unsere Voraussetzung aufgenommen haben, hoffen wir auch diejenigen zu beruhigen, die dem Froste einigen Einfluß zumuthen wollen, welcher jedoch nie von Bedeutung seyn kann.

3^{tens}. Ausser dem, daß man auf die eben bestimmte Art die Stabilität einer Futtermauer zu versichern im Stande ist, ohne in dieser Sache über die Nothwendigkeit hinaus zu gehen; wird dieselbe noch durch folgende Umstände vermehrt, welche man gewöhnlich gar nicht in Betrachtung zu ziehen pflegt; nämlich:

a) Wenn man sich vorstellt, daß das Prisma vom größten Drucke gegen die innere Seite der Mauer wie gegen eine mathematische Fläche mit Reibung drücke; was der Theorie nach vorausgesetzt wird; so wird der Druck desselben noch durch die Reibung an dieser Fläche vermindert, welche Reibung jedoch nicht in Rechnung gebracht wurde, und in der That auch nur eine unnöthige Verwicklung in selbe bringen würde. Denn da jede Mauer eine Dicke haben muß, und die äußere unterste Kante derselben die Umdrehungs-Achse ist; so wirkt der Erddruck gegen die Mauer anders als die Theorie voraussetzt: wenn nämlich diese Mauer dem Erddrucke weichen sollte; so müßte ein Theil des abfallenden Erd-Prisma gehoben, und dann nicht nur das Moment dieses Erdkörpers, sondern auch die Reibung der Mauer an den Erdtheilen, welche dieselbe während ihrer Bewegung aufwärts erleidet, überwunden werden. Steht also eine Futtermauer mit dem Drucke der Erde vollkommen im Gleichgewichte, und man vermehrt den Druck um etwas, so sollte die Mauer der Theorie nach umfallen; dieses wird aber in der Wirklichkeit nur dann geschehen, wenn die Vermehrung des Druckes groß genug ist, um auch diese Hindernisse zu überwinden. Es kann daher geschehen, daß eine Mauer dem Erddrucke weichend sich neigt, ohne umzufallen, und nur bey fortgesetzter Vermehrung des Druckes endlich zum Umsturz gebracht wird. Diese Erscheinung, welche wir bey einem Versuch im Großen beobachtet haben, ist daher keine willkührliche Annahme, sondern ein Ereigniß, welches den Umsturz jeder Futtermauer begleitet. Nun ist aber auch leicht einzusehen, daß die Gestalt der Futtermauer dazu beytragen wird, um die eben erwähnten Hindernisse mehr oder weniger bedeutend zu machen. Diese Hindernisse wirken nämlich, als solche zur Vermehrung der Stabilität der Mauer, nur so lange, bis die Neigung dieser letzteren so groß geworden ist, daß die aus dem Schwerpunkte der Mauer herabfallende *verticale* außerhalb der Grundfläche fällt.

Mauern mit einer äußeren Böschung werden bey dem Umsturze mehr Hindernisse zu überwinden haben, und daher dem Drucke mehr widerstehen, als auf beyden Seiten *verticale*; und zwar um so mehr,

je größer die Anlage der äußeren Böschung ist; ferner werden liegende Mauern dem Umsturze noch mehr widerstehen, als solche, welche bloß eine äußere Böschung haben, und zwar um so mehr, je größer die Anlage der äußeren Böschung ist, wenn man die innere beständig voraussetzt.

Ueber den Werth, welcher diesen den Umsturz hindernden Kräften zukommt, geben die angestellten Versuche einige Aufschlüsse.

b) Die *Cohaesion* des Mörtels.

Einige *Theorien* nehmen diese in Rechnung, und setzen voraus: daß die Mauer an ihrer Berührungsfläche mit dem Fundamente abgerissen werde. Nach unseren Beobachtungen trennt sich jedoch die Mauer in einer Fläche, welche von der Umdrehungs-Achse ausgehend, einen Winkel von beyläufig 45° mit dem Horizont bildet.

Für die Ausführung aber pflegen alle Theoretiker die *Cohaesion* des Mörtels gleich Null zu setzen, indem sie wie Herr *Français* annehmen, daß ein noch nicht vollkommen ausgetrockneter Mörtel keine *Cohaesion* habe, und weil dicke Mauern langsamer zur Austrocknung gelangen als dünne, und zwar um so mehr, wenn sie an der einen Seite mit Erde in Berührung sind, so behaupten sie, daß diese Annahme der Natur gemäß sey, und daß daher die Stabilität so berechnet werden müsse, als ob kein Mörtel vorhanden wäre. Obwohl über diese Kraft keine allgemeinen Bestimmungen aufgestellt werden können, weil die Mannigfaltigkeit der physischen und chemischen Eigenschaften des Kalkes fast an jedem Orte Modificationen derselben veranlaßt; so scheint es doch nicht unmöglich, für jede Oertlichkeit sich die nöthigen Daten zu verschaffen; nur muß man, wenn es nicht aus bloßer Neugierde geschehen sollte, nicht die *Cohaesion* des vollkommen ausgetrockneten Mörtels, sondern jene untersuchen, welche derselbe nach Verlauf jener Zeit erhalten kann, in welcher die Stabilität in Anspruch genommen werden will.

Die gewöhnliche Zeit, in welcher eine 30 bis 40 Fuß hohe Futtermauer hergestellt zu werden pflegt, ist 3 bis 4 Monate; die Bauzeit ist im Sommer, und die Bruchfläche der Mauer nahe am Fundamente.

Bey den in *Wien* im Jahre 1826 angestellten Versuchen über die absolute Festigkeit der Mörtelbänder hat man einzelne Ziegeln auf ein festes Fundament in einem gegen die Einwirkungen der Sonne und des Regens geschützten Orte aufgemauert, und die absolute Festigkeit des Mörtels schon am 6^{ten} Tage erhoben; weil man mit aller Wahrscheinlichkeit voraussetzen kann, daß der Mörtel nahe an dem Fusse einer Futtermauer von 30 bis 40 Fuß Höhe, nach 3 bis 4 Monathen, in der ganzen Dicke derselben wenigstens eben so getrocknet seyn werde, als jener der einzelnen gegen den Einfluß der Witterung verwahrten Ziegeln am 6^{ten} Tage. Noch mehr wird dieses, wenigstens in den gewöhnlichen Fällen, bey den Widerlagen der Gewölbe der Fall seyn; höhere Futtermauern aber, welche dicker seyn müssen, erfordern auch längere Zeit zu ihrer Herstellung, so, daß man also mit Zuversicht hofft, durch die auf die beschriebene Art eingeleitete Erhebung den Anforderungen der ausübenden Baukünstler entsprochen zu haben.

Durch diese Erhebungen hat man gefunden, daß der in *Wien* zu den meisten Bauten verwendete Kalk, nach der gewöhnlichen Art eingesumpft, und dem *Volumen* nach mit $\frac{2}{3}$ gutem Sande gemischt, am 6^{ten} Tage eine *Cohaesion* von 239 Pfund auf jeden Quadrat-Fuß erlangt hatte. Bedeutend größer noch war diese *Cohaesion* in der nähmlichen Zeit bey anderen Kalkarten und anderen Löschemethoden.

Die *Cohaesion* des Mörtels ist daher in dem Zeitpuncte, wo die Stabilität der Mauer in Anspruch genommen wird, keinesweges als Null zu betrachten, bey gutem Kalk, zweckmäßiger Behandlung und Mischung kann sie vielmehr so groß werden, daß in manchen Fällen ökonomische Rücksichten es nicht erlauben dürften, sie außer Acht zu lassen.

Man ist weit entfernt, es anrathen zu wollen, daß alle diese zu Gunsten der Stabilität wirkenden Kräfte allgemein und unter allen Umständen in Rechnung gebracht werden sollen; die Erwähnung derselben geschah vielmehr aus dem Grunde, um zu zeigen, daß Futtermauern, nach der wahren *Theorie* berechnet, und nach der angegebenen Art verstärkt, noch einen nicht beachteten Ueberschuß an

Widerstandsfähigkeit besitzen, welcher in vielen Fällen nöthig ist, um alle in der Ausführung vorkommenden ungünstigen Umstände auszugleichen, welche der Berechnung ohnehin entchlüpfen. Ebenso wenig will man aber behaupten, daß sie niemahls berücksichtigt werden sollen; — dieß müssen die besonderen Umstände in jedem vorkommenden Falle entscheiden; für den denkenden *Ingenieur* sind es daher Winke, die er benützen wird, ohne eine weitere Anleitung zu erwarten oder nöthig zu haben.

Anmerkung 2.

Nachdem Herr *Français* die Verstärkungen nach seiner Methode bestimmt hat, welche eine nach der *Theorie* für den Stand des Gleichgewichtes berechnete Mauer erhalten soll, um eben die Stabilität zu erhalten, wie die schon durch ein Jahrhundert allen Zufällen trotzen den Futtermauern *Vaubans*; rathet er noch an, diesen so verstärkten Futtermauern eben die Strebepfeiler anzuhängen, welche *Vauban* für verschiedene Höhen vorgeschrieben hat.

Wenn aber des Herrn Verfassers Methode die Verstärkung zu bestimmen richtig ist, so wäre es ein wahrer Ueberfluß, derselben eine so kostspielige Zugabe zu geben.

Gegen diese Behauptung könnte eingewendet werden, daß Strebepfeiler, besonders lange, und in verschiedenen Höhen überwölbt, die Herstellung einer gangbaren Bresche sehr erschweren. Wir glauben dieß auch, allein an einer gut construirten Umfassung sind die wenigen nicht ausgedehnten Stellen bekannt, wo es überhaupt möglich ist, Bresche zu schießen; diese Stellen versehe man mit Futtermauern, welchen man die günstigste Construction geben kann, um dieß zu erschweren, alle übrigen aber sollen auf das wirthschaftlichste erbauet werden, jeder Ueberfluß wäre hier eine Satyre auf die Kunst. Uebrigens glaubt selbst Herr *Français*, und wir mit ihm, daß liegende Mauern nicht nur in Bezug auf die Wirthschaft, sondern auch in Hinsicht der Befestigungszwecke die vortheilhaftesten seyn, und diesen, eines so großen Widerstandes fähigen Mauern wird er doch nicht noch Strebepfeiler nach *Vauban* anfügen wollen!

Die *Ingenieure* haben bisher $\frac{p}{p'} = \frac{1}{3}$, und die natürliche Böschung der gewöhnlichen Erde zu 45° angenommen; wir haben gezeigt, daß diese Annahme der Natur nicht angemessen sey, und daß man mit derselben, selbst wenn man des Herrn Verfassers Verstärkung in Anwendung brächte, in den Fall kommen könnte, die Futtermauern zu schwach zu machen. In diesem Falle würden *Vaubans* Strebepfeiler sehr erwünscht seyn; allein ein solches Verfahren hiesse wohl die kaum von der Wissenschaft belebte Kunst wieder zum bloßen Handwerke herabwürdigen.

Man versieht die Futtermauern mit Strebepfeilern nicht bloß in der Absicht, um das Bresche-Schießen zu erschweren, sondern vorzüglich der Wirthschaft wegen; die Bestimmung ihrer Ausmaßen erfordert aber Vorsicht, denn zu lange Strebepfeiler können der Stabilität nachtheilig werden, wie wir in der folgenden Anmerkung zeigen wollen.

Anmerkung 3, §. 27.

Der Herr Verfasser hat die Stabilität der Futtermauern unter der Voraussetzung des Gleitens mit der ihm eigenen Schärfe abgehandelt, und bewiesen: daß eine unter der Voraussetzung des Umsturzes berechnete Futtermauer durch den Druck der Erde nie auf ihrer Grundfläche verschoben werden kann. Diese Wahrheit gilt aber nur für jene Mauern, welche keine Strebepfeiler haben; bey solchen hingegen, welche mit Strebepfeilern versehen sind, kann der Fall eintreten, daß die zwischen zwey Strebepfeilern bestehende Futtermauer von diesen getrennt, und auf der Grundfläche verschoben werden könnte. Um dieses zu erweisen, wollen wir zu einem Beispiele unsere Zuflucht nehmen.

Es sey daher eine 30 Fuß hohe an beyden Seiten verticale Futtermauer aus Ziegelmauerwerk (wovon 1 Kubik-Fuß 83 Pfund wiegen soll) aufzuführen, die 18' Mitte von Mitte entfernten Strebepfeiler seyen rechtwinklichte Parallelepipeden von gleicher Höhe, ihre Breite sey $= 4$ Fuß, und ihre Länge von der inneren Seite der Futtermauer an gerechnet $= 15$ Fuß angenommen worden; die ebenfalls 30 Fuß hohe Erdanschüttung bestehe aus lockerer Dammerde ohne *Cohesion* (wovon 1 Kubik-Fuß 83 Pfund wiegen soll). Berechnet man nach diesen Annahmen die Dicke der Zwischenmauer für den Stand des Gleichgewichtes, so erhält man dieselbe mit 2',08.

Es fragt sich nun, ob die so aufgeführte Mauer durch den vorausgesetzten Erddruck (ohne Vermehrung desselben) irgend einen Schaden erleiden könne. Das ganze System derselben ist gegen den Umsturz gesichert, und es kann dasselbe daher unter der Voraussetzung: daß die einzelnen Theile desselben unzertrennlich seyen, auch nicht auf der Grundfläche verschoben werden.

Allein die Zwischenmauer ist mit dem Strebepfeiler nur durch Einschmätzungen verbunden, und kann daher nicht als unzertrennlich von demselben angesehen werden; wir müssen demnach untersuchen, wie der Erddruck auf die beyden Theile der Mauer, nämlich den Strebepfeiler und die Zwischenmauer, und zwar auf jeden einzeln wirken werde. Betrachten wir zuerst den Strebepfeiler, so finden wir

1^{ens}. daß derselbe auch einzeln betrachtet nicht umgestürzt werden könne, denn die Rechnung gibt, unter der Voraussetzung des Umsturzes, die Mauerdicke bey den gemachten Annahmen mit 8', 256.

2^{ens}. Daß derselbe nicht auf seiner Grundfläche verschoben werden könne, denn die Rechnung gibt, unter der Voraussetzung des Gleitens und bey den gemachten Annahmen, die Mauerdicke mit 4', 50.

Betrachten wir aber die Zwischenmauer, so finden wir, daß sie, ihren gefundenen Ausmaßen nach, weder dem Umsturze noch dem Gleiten widerstehen könnte, wenn sie ganz isolirt da stünde. In Verbindung jedoch mit dem Strebepfeiler, obwohl diese Verbindung nur mittelst der Schmatzen besteht, kann sie nicht umgestürzt werden. Denn, weil die umstürzende Zwischenmauer sich um die äußere Kante ihres Fußes drehen würde; so müßten alle Theile derselben dieser Kreisbewegung folgen, und daher wenigstens die Hälfte der Ziegel, welche in der Höhe von 30' enthalten sind, abbrechen. Durch die relative Festigkeit dieses Materials wird aber der Widerstand gegen den Umsturz dergestalt vermehrt, daß der Druck der Erde nicht im Stande ist, dieser Widerstand sammt dem Momente der Zwischenmauer zu überwinden. Obwohl der horizontale Erddruck die Zwischenmauer nicht umstürzen kann; so wäre es doch möglich, daß dieselbe auf ihrer Grundfläche verschoben werden könnte, denn in diesem Falle hätte der Erddruck kein Material zu brechen, sondern bloß die Reibung in den Schmatzen an den Seiten der beyden Strebepfeiler, nebst der *Cohaesion*

des Mörtels daselbst und auf der Grundfläche, und die Reibung auf der Grundfläche zu überwinden.

Wir werden hier weder die Reibung in den Schmatzen noch die *Cohäsion* des Mörtels beachten, obwohl beyde Kräfte den Widerstand der Mauer bedeutend vermehren können, und einzig auf die Reibung an der Grundfläche Rücksicht nehmen.

Hiernach berechnet, finden wir nach der Formel (35), daß die Zwischenmauer 4',50 dick seyn müßte, wenn die Reibung auf der Grundfläche dem Erddrucke das Gleichgewicht halten soll; und da die vorige Rechnung dieselbe Dicke nur mit 2',08 finden ließ; so wäre die Möglichkeit vorhanden, daß eine so aufgeführte Futtermauer zerstört werden könnte, woran bloß die fehlerhafte Annahme für die Ausmaßen der Strebepfeiler Schuld seyn würde.

Bey der Anwendung der Strebepfeiler muß daher, wenn man sicher gehen will, folgender Weg eingeschlagen werden.

Zuerst berechnet man die Dicke der Zwischenmauer unter der Voraussetzung des Gleitens; ist diese Ausmaß gefunden, so nimmt man die Breite des Strebepfeilers zu $\frac{1}{3}$ seiner Höhe an, wenn nicht besondere Umstände eine größere Breite fordern sollten, um demselben wenigstens die Stabilität einer frey stehenden Mauer zu verschaffen; ökonomische Rücksichten werden für die Entfernung der Mitteln der Strebepfeiler nur die Wahl zwischen 15 bis 18 Fuß gestatten, und nur besondere Umstände eine Abweichung von diesen Maßen entschuldigen; hiernach bleibt, da die Höhe immer bestimmt ist, oder gewählt werden kann, nur noch die Länge des Strebepfeilers zu suchen, welche man findet, wenn man die Summe der Momente der Zwischenmauer und des Strebepfeilers dem Momente des Erddruckes unter der Voraussetzung des Umsturzes gleich setzt.

Es scheint, daß die meisten Unglücksfälle an Futtermauern entweder durch Fehler in der Grundlegung, oder durch eine fehlerhafte Anwendung der Strebepfeiler veranlaßt worden sind. Diese letzteren besonders haben vielleicht dazu beygetragen, daß die Wirkungen des Erddruckes überschätzt worden sind, und daß selbst erfahrene Ingenieure durch verzeihliche Zweifel an der Richtigkeit einer *Theorie*, welche den Erddruck gibt, wie er ist, verleitet, die fehlerhaften Bestimmungen *Vaubans* und *Belidors* mit einer

Art von Ehrfurcht betrachten, und mit beynahe slavischer Hingebung befolgen.

In so lange nicht gründliche und möglichst vollständige Versuche die Richtigkeit der *Theorie* über alle Zweifel erhoben hatten, war es daher nicht zu erwarten, daß Futtermauern anders, als viel zu stark erbauet werden würden.

Die nach den eben entwickelten Grundsätzen berechnete und aufgeführte Futtermauer an der Schotten-*Bastion* in *Wien*, ist wahrscheinlich der größte Versuch dieser Art, welcher jemahls ausgeführt worden ist, und da die Höhe dieser Mauer, die an Festungen sonst gewöhnliche, von 30 bis 36 Fufs bedeutend übersteigt, gewiß geeignet, alle denkbare Zweifel zu verscheuchen, um so mehr, da man absichtlich die Ueberwölbung der Strebepfeiler, als ein künstliches Mittel den Erddruck zu schwächen, bey diesem Bau unterlassen hatte.

Diese Ausführung kann aber auch dazu dienen, die großen ökonomischen Vortheile darzuthun, welche eine, auf richtigen Grundsätzen beruhende Anwendung der wahren Theorie, dem Staate schon bey diesem Baue wirklich verschafft hat, und in der Folge noch in weit größerem Maße verschaffen kann.

Wir werden zu diesem Ende unsere Futtermauer mit einer nach *Belidors* Grundsätzen berechneten vergleichen, weil diese Grundsätze von den meisten *Ingenieuren* bisher befolgt worden sind. Wir müssen jedoch gleich bemerken, daß wir bey der Bestimmung der Ausmaßen der Futtermauer nach *Belidor*, dessen Tabellen nicht benützen können, denn diese sind für gewöhnliche Erde berechnet, deren Gewicht, nach der Annahme dieses Schriftstellers, sich zu dem Gewichte der Mauer verhält wie 2:3; die Erde aber, welche wir hinter der Futtermauer aufschütten mußten, bestand aus einer Mischung von Lehm mit Schotter, und das Gewicht derselben verhielt sich zu dem Gewichte der mit Bruchsteinen gemischten Ziegelmauer wie 1:1. Ferner setzen die Tabellen *Belidors* die Entfernung der Strebepfeiler-Mitteln auf 18 Fufs, und die Höhe derselben der Höhe der Futtermauer gleich; während wir unsere Strebepfeiler auf 19,5 Fufs Mitte von Mitte entfernen mußten, und denselben nur 38' zur Höhe geben konnten, da doch die Futtermauer selbst 46 Fufs hoch war.

Die obere Mauerdicke würde sonach . . . = 10 Fufs.

Die untere am Anfange des Fundamentes = 17',66.

Der körperliche Inhalt der Futtermauer auf

19',5 Länge 12405,10 Kubik-Fufs.

Der körperliche Inhalt des Strebepfeilers 2508,00 „ „

Der körperliche Inhalt des Fundamentes, die Tiefe zu 6 Fufs, der Vorgrund blofs nach Aussen, und zu 0',5 Fufs gerechnet, bey der Futtermauer 2124,72 „ „

Das Fundament des Strebepfeilers, der Vorgrund auf jeder Seite 0,5 Fufs 462,00 „ „

Zusammen 17499, 8 Kubik-Fufs.

Die ausgeführte liegende Mauer ist in der Entfernung zweyer Strebepfeiler-Mittel

lang 19,5 }
breit 6,0 } 5382,00 Kubik-Fufs.
hoch 46,0 }

Der Strebepfeiler

lang 7' }
prop. breit 6' } 1617,36 „ „
hoch 38',58 }

Das Fundament der Futtermauer, die Annahme, wie oben 760,50 „ „

Des Strebepfeilers 294,00 „ „

Zusammen 8053,86 Kubik-Fufs.

Bey gleicher Stabilität kostet daher unsere Futtermauer nur halb so viel an Geld und Zeit, als eine nach den bisher befolgten Grundsätzen erbaute gekostet haben würde.

Die obere Mauerdicke würde sonach . . . = 10 Fuß.

Die untere am Anfang des Fundamentes = 17,66.

Der körperliche Inhalt der Futtermauer auf

19,5 Länge 12405,10 Kubik-Fuß.

Der körperliche Inhalt des Strebebleis . . . 2508,00

Der körperliche Inhalt des Fundamentes, die

Tiefe zu 6 Fuß, der Vorgrund bloß nach Außen.

und zu 0,5 Fuß gerechnet, bey der Futtermauer 2124,32.

Das Fundament des Strebebleis, der Vor-

grund auf jeder Seite 0,5 Fuß 462,00

Zusammen . . . 17499,8 Kubik-Fuß.

Die ausgeführte liegende Mauer ist in der Entfernung zweyer Strebe-

bleis-Mittel

lang 19,5

breit 6,0

hoch 46,0

Der Strebebleis

lang 7

prop. breit 6

hoch 38,58

1617,36

Das Fundament der Futtermauer, die Annahme

760,50

294,00

Zusammen . . . 8053,86 Kubik-Fuß.

Bei gleicher Stabilität kostet daher unsere Futtermauer nur halb so

viel an Geld und Zeit, als eine nach den hieser befolgten Grundsätzen

erbaut gekostet haben würde.

Die

Gezeichnet
Gezeichnet
München

I n h a l t.

	Pag.
Einleitung	2
Erster Abschnitt. Theorie	7
Theorie des Herrn <i>Coulomb</i>	7
Allgemeine Auflösung durch Herrn <i>François</i>	12
§. 1. Theorie unter der Voraussetzung des Umsturzes der Futtermauer	14
§. 2. Anwendung	24
§. 3. Theorie unter der Voraussetzung des Gleitens der Futtermauer	31
§. 4. Böschungsanlage für Erdaushebungen	37
Tabelle zur Berechnung der Höhen und Böschungs-Anlagen der Erdaushebungen	41
Zweyter Abschnitt. Versuche	42
Versuche des Herrn <i>Gadroy</i>	42
Bemerkungen darüber	43
Versuche des Herrn <i>Papacini d'Antony</i>	44
Bemerkungen darüber	44
Versuche des Herrn <i>Gauthey</i>	45
Bemerkungen darüber	47
Versuche des Herrn <i>Rondelet</i>	48
Bemerkungen darüber	49
Versuche des Herrn <i>Mayniel</i> zu <i>Alexandria</i> und <i>Juliers</i>	49
Beschreibung des Apparates	50
Beschreibung der Versuche	52
Folgerungen	60
Bemerkungen über die Versuche des Herrn <i>Mayniel</i>	65
Versuche angestellt in Wien im Jahre 1827	74
Beschreibung des Apparates zur Erhebung des Druckes der Erde	74
Beschreibung des Vorganges dabey	81
Beschreibung des Apparates zur Erhebung der Reibung der Erde auf Erde	85
Beschreibung des Apparates zur Erhebung der Cohäsion fest gestossener Erde	87

	Page
Beschreibung der Versuche	89
Erste Reihenfolge. <i>Dammerde</i>	95
A. Lockere Dammerde	95
¹ <i>tens</i> . Erhebung des Druckes, wenn die Anschüttung mit dem Hindernisse gleich hoch ist	95
a) Wenn die Erde natürlich feucht ist	95
b) Im staubtrockenen Zustande	100
c) In mit Wasser gesättigtem Zustande	112
² <i>tens</i> . Erhebung der natürlichen Böschung und der Reibung der Erde auf Erde	114
³ <i>tens</i> . Erhebung der Cohäsion lockerer Dammerde	115
⁴ <i>tens</i> . Erhebung des Druckes, wenn die Anschüttung höher ist als das Hindernisse	118
a) Im staubtrockenen Zustande	118
b) Im natürlich feuchten Zustande	121
⁵ <i>tens</i> . Widerstand trockener Ziegelmauern gegen den Druck lockerer Dammerde	127
B. Fest gestossene Dammerde	131
a) Stauhtrocken	132
¹ <i>tens</i> . Erhebung des Druckes, wenn die Anschüttung mit dem Hindernisse gleich hoch ist	132
² <i>tens</i> . Erhebung der Cohäsion fest gestossener staubtrockener Dammerde	133
b) Erhebung der Cohäsion natürlich feuchter fest gestossener Dammerde, und Widerstand einer trockenen Ziegelmauer gegen eine gleich hohe Anschüttung dieser Art	134
Zweyte Reihenfolge. <i>Sand</i>	139
¹ <i>tens</i> . Natürlich feuchter Sand	139
² <i>tens</i> . Mit Wasser gesättigter Sand	143
⁴ <i>tens</i> . Vollkommen trockener Sand	144
Erhebung der Cohäsion des vollkommen trockenen lockeren Sandes	145
Dritte Reihenfolge. <i>Reiner gelber Lehm</i>	146
¹ <i>tens</i> . Erhebung des Druckes einer lockeren vollkommen trockenen Anschüttung, wenn sie mit dem Hindernisse gleich hoch ist	146
Cohäsion der gestossenen trockenen Lehmmerde	147
² <i>tens</i> . Erhebung des Druckes einer lockeren natürlich feuchten Anschüttung, wenn sie mit dem Hindernisse gleich hoch ist	148
Cohäsion der lockeren natürlich feuchten Lehmmerde	149
Cohäsion der lagenweise fest gestossenen natürlich feuchten Lehmmerde	150

	Pag.
3 ^{tens} . Erhebung des Druckes des mit Wasser gesättigten Lehmcs, wenn die Anschüttung mit dem Hindernisse gleich hoch ist	150
Vierte Reihenfolge. <i>Schotter</i>	151
Fünftens. Anwendung der Resultate der vorgenommenen Versuche bey der Herstellung eines Theiles der <i>Schotten-Bastion</i> in Wien im Jahre 1827	154
Versuch über die Cohesion, welche Lehmerde mit grobem Kies gemischt, durch Anstoßen, im Maximum beynahe anzunehmen vermag	161
Dritter Abschnitt. Untersuchungen über die Uebereinstimmung der Theorie mit den angestellten Versuchen	167
Erste Reihe von Versuchen	169
1 ^{tens} . Lockere Dammerde, natürlich feucht, die Anschüttung mit dem Hindernisse gleich hoch	169
2 ^{tens} . Lockere vollkommen trockene Dammerde, die Anschüttung mit dem Hindernisse gleich hoch	171
3 ^{tens} . Vollkommen trockene Dammerde, die Anschüttung höher als das Hinderniß	178
4 ^{tens} . Staubtrockene lockere Dammerde, gegen eine nicht in Mörtel gelegte Ziegelmauer drückend, wenn die Anschüttung mit der Mauer gleich hoch ist	185
5 ^{tens} . Fest gestossene staubtrockene Dammerde	188
Zweyte Reihe von Versuchen. <i>Scharfer reiner Sand</i>	193
Dritte Reihe von Versuchen. <i>Gelbe Lehmerde</i>	195
Vierte Reihe von Versuchen. <i>Schotter</i>	198
Vierter Abschnitt. Anwendung	200
Anmerkung 1. Vermehrung des Widerstands-Momentes der Mauern über das Gleichgewicht	200
Anmerkung 2. Ueber die bisherige Anwendung der Strebepfeiler	215
Anmerkung 3. Berechnung der Futtermauern mit Strebepfeilern nach der durch Versuche bewährten Theorie, und Vergleich derselben mit einer unter gleichen Umständen nach <i>Belidor</i> erbauten	216

154	Die erste Reihe von Versuchsreihen
155	Die zweite Reihe von Versuchsreihen
156	Die dritte Reihe von Versuchsreihen
157	Die vierte Reihe von Versuchsreihen
158	Die fünfte Reihe von Versuchsreihen
159	Die sechste Reihe von Versuchsreihen
160	Die siebente Reihe von Versuchsreihen
161	Die achte Reihe von Versuchsreihen
162	Die neunte Reihe von Versuchsreihen
163	Die zehnte Reihe von Versuchsreihen
164	Die elfte Reihe von Versuchsreihen
165	Die zwölfte Reihe von Versuchsreihen
166	Die dreizehnte Reihe von Versuchsreihen
167	Die vierzehnte Reihe von Versuchsreihen
168	Die fünfzehnte Reihe von Versuchsreihen
169	Die sechzehnte Reihe von Versuchsreihen
170	Die siebenzehnte Reihe von Versuchsreihen
171	Die achtzehnte Reihe von Versuchsreihen
172	Die neunzehnte Reihe von Versuchsreihen
173	Die zwanzigste Reihe von Versuchsreihen
174	Die einundzwanzigste Reihe von Versuchsreihen
175	Die zweiundzwanzigste Reihe von Versuchsreihen
176	Die dreiundzwanzigste Reihe von Versuchsreihen
177	Die vierundzwanzigste Reihe von Versuchsreihen
178	Die fünfundzwanzigste Reihe von Versuchsreihen
179	Die sechsundzwanzigste Reihe von Versuchsreihen
180	Die siebenundzwanzigste Reihe von Versuchsreihen
181	Die achtundzwanzigste Reihe von Versuchsreihen
182	Die neunundzwanzigste Reihe von Versuchsreihen
183	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
184	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
185	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
186	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
187	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
188	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
189	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
190	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
191	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
192	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
193	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
194	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
195	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
196	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
197	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
198	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
199	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
200	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
201	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
202	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
203	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
204	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
205	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
206	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
207	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
208	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
209	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen
210	Die hundertste Reihe von Versuchsreihen

Inv. N^o



Martony de Köszezh, Carl

Versuche über den Seitendruck der Erde nebst einer Nachweisung älterer
Versuche dieser Art

Wien 1828

4 A.civ. 139 d

urn:nbn:de:bvb:12-bsb10048646-3